

LOGOS VESTIGIUM

Registro de movimientos oculares con el eye tracker Mobile eye XG



Carolina Gutiérrez de Piñeres Botero

6



La colección editorial Logos-Vestigium comprende obras fruto de la actividad científica de la Facultad de Psicología de la Universidad Católica de Colombia. Su nombre exalta la búsqueda comprometida de vestigios —entendidos como respuestas tentativas a preguntas de investigación— que permitan aportar, desde el quehacer académico, al desarrollo social y de la ciencia psicológica. Vestigio, como señal de algo inacabado, es una exhortación a la persistencia, a la búsqueda, e invita a continuar con la averiguación y el estudio de lo psicológico en un entorno tecnológicamente cambiante, metodológicamente diverso y socialmente complejo. Son propios de esta colección reflexiones, teorías, procedimientos, métodos, instrumentos, protocolos, procesos, hallazgos, documentación de innovación y demás tipos de formatos de aportes derivados de los avances contemporáneos de sus líneas de investigación, que, bajo principios de excelencia teórica y metodológica, sean seleccionados en el proceso característico de las publicaciones científicas.

Carolina Gutiérrez de Piñeres Botero

Se formó como psicóloga (1998) en la Pontificia Universidad Javeriana, Especialista (2004) y Magíster (2011) en Psicología Jurídica de la Universidad Santo Tomás y se doctoró en Psicología con Orientación en Neurociencia Cognitiva Aplicada (2012) de la Universidad Maimónides en Buenos Aires, Argentina. Actualmente es profesora adscrita al programa de Doctorado en Psicología de la Universidad Católica de Colombia. Investigadora Asociada al Centro de Estudios e Investigaciones en Psicología -CEIPS- de la Facultad de Psicología de la Universidad Católica de Colombia.

Profesora investigadora en la Universidad Católica de Colombia desde el 2016. Profesora de la Universidad Konrad Lorenz y la Escuela de Posgrados de la Policía. Es reconocida por su compromiso con la investigación y la formación de nuevos profesionales, a través de asignaturas de neurociencias, psicología jurídica y psicología de las emociones.

Experiencia e interés investigativo centrado en neurociencias cognitivas, emocionales, afectivas y sociales y su aplicación a la solución de problemas; cognición social y teoría de la mente; justicia restaurativa; psicología y neuropsicología forense; neuroderecho y neuropsicología jurídica, victimología, criminología y psicología del testimonio.

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9079-3670>

COLECCIÓN **LOGOS** 6
VESTIGIUM

Registro de movimientos
oculares con el eye tracker
Mobile eye XG



Carolina Gutiérrez de Piñeres Botero



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

Gutiérrez de Piñeres Botero, Carolina

Registro de movimientos oculares con el eye tracker Mobile eye XG / Carolina Gutiérrez de Piñeres Botero.— Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 2019

93 páginas; 17 x 24 cm -- (Colección Logos Vestigium ; no.6)

ISBN: 978-958-5456-69-3 (impreso)

978-958-5456-70-9 (digital)

I.Título II. Serie

1. NEUROPSICOLOGÍA 2. PSICOLOGIA-INVESTIGACIONES 3. EYE TRACKER MOBILE EYE XG

Dewey 616.92 02 SCDD ed. 21

PROCESO DE ARBITRAJE

Primer concepto de evaluación:

24 de octubre de 2017

Segundo concepto de evaluación:

24 de junio de 2018

© Universidad Católica de Colombia

© Carolina Gutiérrez de Piñeres Botero

Primera edición, Bogotá, D.C.

Febrero de 2019

DIRECCIÓN EDITORIAL

Stella Valbuena García

COORDINACIÓN EDITORIAL

María Paula Godoy Casasbuenas

CORRECCIÓN DE ESTILO

Gabriela de la Parra M.

DISEÑO DE COLECCIÓN

Juanita Isaza

DIAGRAMACIÓN

Mauricio Salamanca

PUBLICACIÓN DIGITAL

Hipertexto Ltda.

www.hipertexto.com.co

IMPRESIÓN

Xpress Estudio Gráfico y Digital S.A.

www.xpress.com.co

Bogotá, D.C., Colombia

CÓMO CITAR EN APA

Gutiérrez de Piñeres Botero, C. (2019). *Registro de movimientos oculares con el eye tracker Mobile eye XG*. Bogotá: Editorial Universidad Católica de Colombia.

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

Av. Caracas 46 - 22

Bogotá, D. C.

psicologia@ucatolica.edu.co

EDITORIAL

Universidad Católica de Colombia

Av. Caracas 46 - 72 piso 5

Bogotá, D. C.

editorial@ucatolica.edu.co

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni total ni parcialmente o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sin el permiso previo del editor.

Hecho el depósito legal

©Derechos reservados

GRUPO: Europsis

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Procesos psicobiológicos y del comportamiento

PROYECTO: Validación de contenido de una batería de cognición social en psicología forense en población colombiana y población mexicana

Los avances tecnológicos de las últimas décadas en los eye trackers, en especial de los glass, los han convertido en una herramienta relevante en el campo de las neurociencias cognitivas, emocionales y sociales, debido a la relación que existe entre el comportamiento visual y los procesos neuronales. Ello ha facilitado el estudio de un número significativo de procesos psicológicos, que incluyen la percepción, las emociones, la cognición social, la toma de decisiones, la atención y la lectoescritura, entre otros.

Los eye trackers han sido aplicados en la investigación de un amplio número de actividades humanas que incluyen el diseño de páginas y aplicaciones web y estudios de mercado, del comportamiento visual de los conductores y deportistas y de las interacciones individuo-computador, simulaciones para el entrenamiento de militares y apoyo al diagnóstico clínico de trastornos de la personalidad y condiciones neurológicas.

Este libro tiene como objetivo aportar elementos para la planeación, el diseño y la ejecución de investigaciones que incluya el uso de eye trackers, en particular del eye tracker Mobile eye XG. Es una de las primeras revisiones en español, que recopila información sobre los movimientos oculares. Contiene una descripción sobre el eye tracker Mobile eye XG y otros dispositivos; una revisión sobre la visión humana y los movimientos oculares; una reseña acerca de los determinantes cognoscitivos de los movimientos oculares; una aproximación a las condiciones para el diseño, la ejecución y el análisis de datos de las investigaciones con esta herramienta y una revisión sobre sus campos de aplicación.

Palabras clave: comportamiento visual, fijación, movimientos sacádicos, procesamiento visual, algoritmos, AOI

ABSTRACT

Technological advances in recent decades have made eye trackers, especially glasses, an important tool in the field of cognitive, emotional, and social neurosciences, due to the relationship that exists between visual behavior and neuronal processes. This has facilitated the study of a significant number of psychological processes, including perception, emotions, social cognition, decision making, attention, and literacy, among others.

Eye trackers have been applied to research a wide range of human activities, including web page and application design and market studies, the visual behavior of drivers and athletes, human-computer interactions, simulations for military training, and as a support for the clinical diagnosis of personality disorders and neurological conditions.

This book aims to provide elements for the planning, design, and execution of research that includes the use of eye trackers, in particular the Mobile Eye-XG eye tracker. This is one of the first reviews in Spanish that collects information on eye movements. The study contains a description of the Mobile Eye-XG eye tracker and other devices; a review of human vision and eye movements; a review of the cognitive determinants of eye movements; an exploration of the conditions that determine the design, execution, and data analysis of research that uses this tool, as well as a review of its fields of application.

Keywords: visual behavior, fixation, saccadic movements, visual processing, algorithms, AOIs.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
PARTE 1.	
Descripción del eye tracker Mobile eye XG.....	15
PARTE 2.	
Visión humana y movimientos oculares	21
PARTE 3.	
Neurobiología de los movimientos oculares	31
PARTE 4.	
Determinantes cognoscitivos de las fijaciones y de los movimientos oculares	35
PARTE 5.	
Condiciones para el diseño y el registro de estudios con el eye tracker Mobile eye XG.....	41
PARTE 6.	
Análisis y representación gráfica de los datos	47
PARTE 7.	
Condiciones para el reporte de investigación	57
PARTE 8.	
Aplicaciones del eye tracking	59
REFERENCIAS	75
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Parámetros para la caracterización de los movimientos y micromovimientos asociados con la fijación visual	28
Tabla 2.	Parámetros para la caracterización de los micromovimientos asociados con la fijación visual.....	28
Tabla 3.	Abreviaturas del algoritmo	49
Tabla 4.	Algoritmos generales propuestos por Salvucci y Goldberg	49
Tabla 5.	Algoritmos basados en la velocidad. Identificación del umbral de velocidad de las fijaciones	50
Tabla 6.	Algoritmos basados en la velocidad. Modelo oculto de Markov para la identificación de la fijación	51
Tabla 7.	Algoritmos basados en la dispersión. Identificación del umbral de dispersión.....	51
Tabla 8.	Algoritmos basados en la dispersión. Árbol de expansión mínima	52
Tabla 9.	Algoritmos basados en el área.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Modelos de eye tracker.....	15
Figura 2.	Eye tracker y realidad virtual.....	18
Figura 3.	Anatomía del ojo humano	22
Figura 4.	Ejes y ángulos del ojo.....	22
Figura 5.	Músculos relacionados con los movimientos oculares.....	24
Figura 6.	Ubicación de la fóvea y la parafóvea en el ojo humano.....	24
Figura 7.	Visión foveal y parafoveal en el ojo humano	25
Figura 8.	Punto de fijación y exactitud	25
Figura 9.	Visión a partir del punto de fijación	26
Figura 10.	Área motora suplementaria y campo visual frontal	32
Figura 11.	Ganglios basales	33
Figura 12.	Colículo superior	33
Figura 13.	Tipos de movimientos y micromovimientos asociados con la fijación visual.....	53
Figura 14.	Ejemplo de vista en un área de interés 1	54
Figura 15.	Ejemplo de vista en un área de interés 2	55
Figura 16.	Ejemplo de vista en un área de interés 3	55
Figura 17.	Trazos de movimientos oculares registrados durante el eye tracking	56
Figura 18.	Experimento de Yarbus	60
Figura 19.	Dispositivo utilizado por Yarbus para registrar los movimientos oculares.....	61
Figura 20.	Imagen del experimento utilizado por Yarbus en 1967.....	62

El sistema de la visión es quizás uno de los más complejos, agudos y necesarios para la ejecución de una gran cantidad de tareas en las que participan los seres humanos. Está integrado por un conjunto de órganos, centros nerviosos y vías neuronales capaces de captar y procesar la información visual y es uno de los más importantes para garantizar la supervivencia y la adaptación a las constantes demandas cambiantes del entorno. Este sistema ocupa al menos un 50 % del cerebro, lo que hace posible que los seres humanos reconozcan y den sentido a lo que ocurre en el entorno (Tatler, 2014).

Pese a su complejidad, la cantidad de información que procesa está limitada por circunstancias de espacio y de tiempo, debido a que la visión de alta agudeza se restringe a una pequeña región de la retina denominada fovea, lugar donde se retienen las imágenes durante un lapso de 200 a 400 milisegundos en promedio. Los estímulos que se fijan son priorizados por el cerebro, el cual es el encargado de decidir hacia dónde se dirigirán los ojos. Esta decisión está mediada tanto por las exigencias de una situación particular como por las propiedades de los estímulos. Estudiar los factores relacionados con los movimientos oculares resulta crucial para comprender parte del comportamiento humano (Tatler, Kirtley, Macdonald, Mitchell y Savage, 2014).

En concordancia con las ideas anteriores, Du Laurens, un médico anatomista francés, afirmó a mediados del siglo XX que los ojos eran la ventana de la mente, idea que hasta el día de hoy refleja la importancia del sentido de la visión. De ahí que el estudio de los movimientos oculares sea una de las medidas más objetivas para conocer el funcionamiento del cerebro y un amplio rango de procesos psicológicos, biológicos y neuropsicológicos (Wade y Tatler, 2005; Van Gompel, Fischer, Murray y Hill, 2007) requeridos para la ejecución de una extensa gama de comportamientos (Tatler et al., 2014), no solo con el fin de obtener información del entorno, sino para interactuar con otras personas.

Dado que el sistema de procesamiento de información visual da cuenta de una parte del funcionamiento del cerebro, como lo había afirmado en su momento Du Laurens, una gran cantidad de neurofisiólogos y psicofísicos se ha interesado por estudiar el sistema visual humano e indagar sobre la influencia de los movimientos oculares en la percepción durante la observación.

Con el fin de acceder a este tipo de procesos se ha diseñado un conjunto de herramientas que permiten hacer un seguimiento a los movimientos oculares, conocidos como eye trackers. Se trata de una tecnología de videoculografía, usada para monitorear el movimiento de los ojos con una cámara de video mientras los participantes ejecutan una tarea, lo que permite conocer el funcionamiento del cerebro. Este tipo de mecanismos se aplica en una amplia variedad de campos como el análisis de la usabilidad, la neuropsicología, la psicolingüística, el neuromercadeo, la psicología cognitiva y la psiquiatría, entre otros.

Las tecnologías para eye tracking son usadas con varios fines, entre los que se incluyen el estudio de procesos como la toma de decisiones, la lectoescritura y la atención; el apoyo en el diagnóstico clínico de trastornos de personalidad, emocionales y afectivos; la investigación de marcadores y factores de riesgo de desórdenes psiquiátricos; el estudio de los efectos de sustancias psicoactivas sobre la cognición y la emoción y el estudio de la usabilidad o la eficacia con la que interactúa una persona con una herramienta (aplicación, libro, computador, página web y teléfono celular, entre otros) (Holmqvist et al., 2011).

Debido al incremento de las empresas que diseñan y construyen estas tecnologías, se hace necesario un entrenamiento teórico y práctico que facilite el diseño experimental y el registro adecuado de datos.

Este libro se inscribe en la línea de investigación en procesos psicobiológicos y del comportamiento. Tiene como objetivo aportar elementos significativos en el momento de planear, diseñar y ejecutar una investigación que incluya el uso de eye trackers en general y del eye tracker Mobile eye XG en particular. Asimismo, contiene una revisión selectiva sobre los diversos campos en los que puede ser utilizado. No se incluyen instrucciones de manejo debido a que cada eye tracker cuenta con un manual particular.

1

DESCRIPCIÓN DEL EYE TRACKER MOBILE EYE XG

Se puede definir como eye tracker o rastreador ocular al conjunto de tecnologías (computador, cámara) que permiten monitorear y registrar la exploración visual de una escena o un objeto (Figura 1). Se hace un seguimiento a los movimientos sacádicos (que se producen a una velocidad de 30 a 120 milisegundos, durante los cuales no hay visión) y a la fijación o movimientos microsacádicos (que duran entre 200 y 600 milisegundos, momento en el que se produce la visión) (Holmqvist et al., 2011).

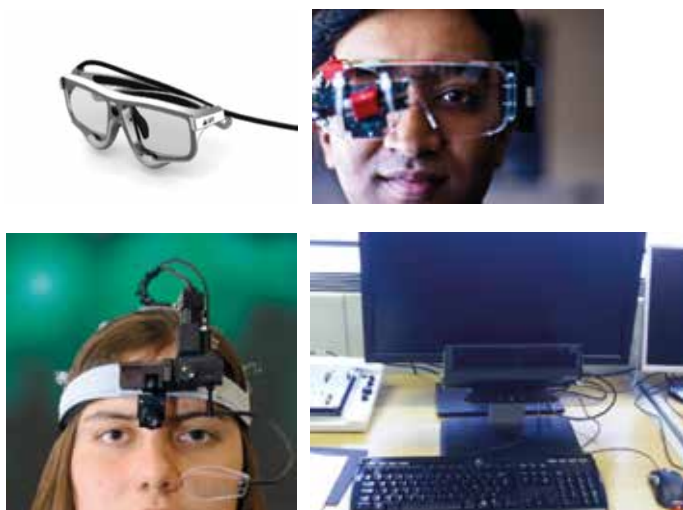


Figura 1. Modelos de eye tracker. Fuente: SensoMotoric Instruments. (2014). SMI Eye Tracking Glasses Natural Gaze. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SMI_ETG_Natural_Gaze.jpg; Dolby, M. (2011). Eye Tracking. Recuperado de <https://www.flickr.com/photos/markdolby/5761911254/>; Jaobro17 (2007). Eye Tracker. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EyeTracker1.jpg>; Creative Commons. (s. f.). Tobbi Eye Tracking Demonstration Station. Recuperado de <https://www.flickr.com/photos/doos/4582502376>

Históricamente, el interés por la relación entre los movimientos de los ojos con procesos como la lectura y la escritura, la atención, la percepción y la orientación motivó el desarrollo de estas herramientas, cuyo objetivo inicial fue evaluar la fijación de la mirada y su correspondencia con los movimientos de la cabeza.

En la actualidad, las investigaciones con eye trackers permiten llevar a cabo un gran número de pesquisas desde múltiples campos del conocimiento como la psicología, las neurociencias, la publicidad, la economía, la medicina y la psicolingüística, entre otras, que brindan información para entender mejor el comportamiento humano, relacionado con movimientos oculares (Cooke, 2006).

La tecnología eye tracking tiene como propósito principal medir los movimientos de los ojos. De acuerdo con Pernice y Nielsen (2009), su uso en las investigaciones tiene diversas ventajas: permiten observar y analizar lo que las personas están viendo con gran precisión, disminuir las interrupciones que se presentan cuando se emplean otros instrumentos, estudiar y comprender aquello que llama la atención de un observador cuando fija la mirada en algún punto de una imagen o un espacio y los detalles que ignora, los cuales son tan importantes como aquellos sobre los que se fija la atención; aporta mayor información que el reporte verbal; posibilita medir el comportamiento en ambientes naturales, sin tener que monitorear a la persona que participa en el estudio, lo que incrementa su validez ecológica, aunque también pueden ser usadas en laboratorios, sin afectar la validez y confiabilidad de los datos obtenidos.

Estos instrumentos están basados en reflexiones infrarrojas. El ojo se ilumina con una luz LED, como la que utilizan los controles remoto de los televisores. La cantidad de iluminación que reciben los ojos es menor que la cantidad que recibe en el exterior en un día soleado y de diez a cien veces menor que la que recibe de la luz a la que se expone el ojo de forma prolongada; por lo tanto, la participación en los estudios no representa ningún riesgo para el participante (Pernice y Nielsen, 2009).

Estas tecnologías agrupan una serie de herramientas invasivas o no invasivas y se clasifican en tres categorías: a) videoculografía; b) electroculografía, y c) bobinas de búsqueda, lentes de contacto y fotoculografías.

Los sistemas invasivos requieren que el instrumento esté en contacto físico con el sujeto experimental, lo que puede causar una mayor incomodidad y, por lo tanto, rechazo a su uso, pero como ventaja ofrece una mayor precisión en la información. Por otro lado, los sistemas no invasivos emplean videos o fotos, aunque su precisión disminuye al aumentar la complejidad para la calibración; son las técnicas de mayor uso porque resultan más cómodas para los evaluados (Pernice y Nielsen, 2009; Was, Sansosti y Morris, 2016).

El eye tracker Mobile eye XG, diseñado y producido por Applied Science Laboratories (ASL), es un sistema compacto y ligero de seguimiento ocular, acompañado de un pequeño dispositivo de grabación que facilita su portabilidad. La imagen del ojo y del escenario se articulan y se guardan en una cinta DVCR, que almacena información hasta por 130 minutos, cuando se tiene la carga plena. La información recogida en la cinta se transfiere a un computador que separa las imágenes, analiza y crea un video de la escena¹.

La mayor ventaja del eye tracker Mobile eye XG es que ofrece una completa libertad de movimiento en diversas situaciones experimentales en investigación de mercado, ciencias del deporte, psicología, medicina, entrenamiento militar y conducción. En comparación con los sistemas tradicionales, es más flexible, de manera que la cámara incorporada a las gafas puede ajustarse a varias escenas y tareas; maximiza la distancia de rastreo; permite que la persona desempeñe múltiples tareas imposibles de llevar a cabo con las cámaras fijas, puesto que la rotación del ojo humano es limitada; el mantenimiento y las condiciones de aseo para su almacenamiento y uso con varios participantes es sencillo; no bloquea la visión periférica, lo que garantiza el seguimiento a un comportamiento natural; al ser un sistema inalámbrico y ligero, dispone de mayor libertad de movimiento y comodidad y así es mucho más fácil obtener información de todo el entorno sin restricción (Applied Science Laboratories [ASL], 2014).

Estas tecnologías portátiles posibilitan guardar información de manera inalámbrica en tiempo real y sincronizan la información que procesa el eye tracker con información psicofisiológica —como en los electroencefalogramas (EEG)— o se integran con tecnologías de realidad virtual (VR) (Figura 2).

¹ Para una información más completa, puede verse el manual del usuario y los videos que figuran en la página de ASL en <http://host.web-print-design.com/asl/ResourceCenter/MobileEyeVideos/tabid/88/Default-2.html>



Figura 2. Eye tracker y realidad virtual. Fuente: Creative Commons. (2010). *A Professional Head-Mounted Display (HMD)*. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted_display#/media/File:XSight_HMD.jpg; Pxhere. (s. f.). Sin título. Recuperado de <https://pxhere.com/es/photo/616742>

Tan importante como señalar las múltiples ventajas del uso de tales herramientas es considerar sus limitaciones, que pueden convertirse en desventajas. La tecnología eye tracking glass puede ser difícil de calibrar, ya que se requiere cierta práctica y además no es posible calibrarla para todas las personas; cada situación experimental puede requerir un nuevo ajuste, por lo que no es un método para uso masivo. Los sesgos de selección generan distorsiones en el análisis estadístico de los datos obtenidos; por ello se advierte la importancia de conocer y aprender a utilizar adecuadamente las tecnologías y de planear la investigación de acuerdo con sus posibilidades y limitaciones, la cantidad de participantes, el tiempo que toma cada situación experimental, el tiempo de la calibración y el escenario en donde se llevará a cabo el experimento (interior o exterior) (Pernice y Nielsen, 2009).

El empleo de este conjunto de tecnologías exige a los evaluadores e investigadores un dominio sobre fisiología del ojo humano, anatomía ocular, estructuras cerebrales relacionadas con el procesamiento de información visual, movimientos oculares y procesos cognitivos y neurocognitivos subyacentes de los cuales da cuenta el estudio de la visión.

Tales tecnologías integradas se utilizan en investigaciones de mercado (Ferrer, 2017); en investigaciones con deportistas (Reina, Del Campo, Moreno y Sanz, 2004; Shim, Carlton, Chow y Chae, 2006); en desarrollo de páginas web; en el estudio y diagnóstico de déficits cognitivos y de trastornos del comportamiento (Conklin, Pellicer-Sánchez y Carrol, 2018), así como en el estudio de procesos cognoscitivos (Conklin et al., 2018) y de emociones (Jeon, 2017).

Como metodología para el desarrollo de este libro se llevó a cabo una revisión selectiva que incluyó la exploración de documentos, manuales, protocolos, guías, investigaciones y páginas web referentes a la visión humana, la percepción humana,

los movimientos oculares, las herramientas de eye tracking y las investigaciones en las que se han usado, en particular aquellas que han empleado el eye tracker Mobile eye XG.

Con una parte de la revisión selectiva se construyó el marco teórico, que incluyó una descripción de la visión humana, la neurobiología de los movimientos oculares y los determinantes cognoscitivos de la fijación durante la observación de imágenes. En el Anexo 1 de esta guía se encuentra un glosario con algunos términos de mayor uso en la aplicación de eye tracking.

Los documentos revisados sobre manuales, guías y protocolos de las tecnologías para eye tracking fueron seleccionados para detectar sus alcances y limitaciones, las indicaciones mínimas para el diseño de investigaciones y experimentos y la forma en que deben analizarse los datos obtenidos, así como para construir un formato guía de consentimiento informado que se presenta en el Anexo 3.

La revisión sobre investigaciones se enfocó en identificar los estudios que habían involucrado estas herramientas y fueron clasificados según la aplicación que podría dárseles a los eye trackers. Al final del documento se presenta una lista con investigaciones que han utilizado la tecnología eye tracker Mobile eye XG.

2

VISIÓN HUMANA Y MOVIMIENTOS OCULARES

La visión humana es un proceso que integra los ojos y el cerebro mediante una red de neuronas, receptores y células especializadas. Este sistema depende de un buen número de procesos cognoscitivos y emocionales como la atención, la memoria y el procesamiento de información que, en conjunto, facilitan el ahorro de recursos cognoscitivos para prestar atención consciente a tareas que así lo requieran.

En un porcentaje alto, la visión humana procesa información de manera automática para “la interpretación del mundo exterior mediante sistemas internos de codificación y representación a través de la extracción de información contenida en las imágenes retinianas” (Pons y Martínez, 2004, p. 15).

El ojo es el órgano básico del sentido de la visión. Es capaz de percibir cambios de luz y transformarlos en impulsos eléctricos, lo que permite obtener una gran cantidad de información sobre el mundo externo, como la distancia a la que se encuentran las cosas, la forma, el tamaño y el color de los objetos y la velocidad a la que estos se mueven; ello garantiza que el ser humano tenga una representación confiable de su entorno para tomar decisiones con celeridad (Pons y Martínez, 2004).

El ojo humano está conformado por diversas estructuras que hacen posible la visión (Figura 3). La luz que se refleja en los objetos es percibida por el ojo mediante la córnea, encargada de enfocar la luz. Luego, la luz pasa por la pupila —ubicada en la parte central del iris— y se proyecta hacia la retina. Esta última contiene una gran cantidad de células sensibles a la luz llamadas conos y bastones, que tienen como función convertir la luz en señales eléctricas que son enviadas a la corteza visual por medio del nervio óptico. Dentro de la retina se encuentra la mácula, en cuyo centro se ubican la fovea y la parafovea (Abad, 2007; Holmqvist et al., 2011).

Visión humana y movimientos oculares

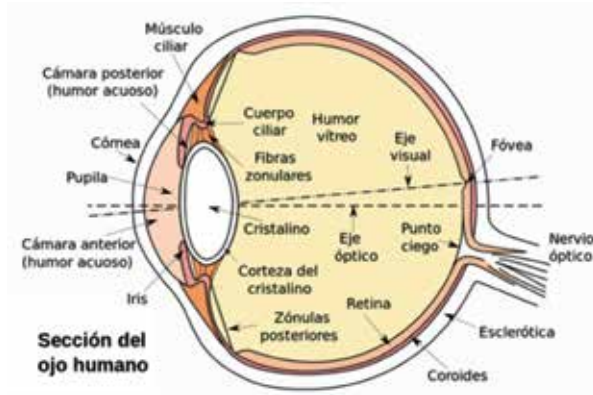


Figura 3. Anatomía del ojo humano. Fuente: AStardus. (2007). *Section View of the Human Eye*. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Ojo>

La fóvea es una depresión anatómica localizada cerca del centro de la mácula y contiene bastones y conos, células fotorreceptoras con gran sensibilidad. La fóvea es responsable de la visión central aguda o visión foveal, que cubre entre 2 y 5 grados de los 180 que es capaz de percibir el ojo humano a partir de un punto de fijación (Figuras 3, 4, 5 y 6). Esta región es indispensable para que los humanos desempeñen actividades visuales que requieren atención y precisión, como la lectura y la conducción, ya que es el área en la que el ojo tiene mayor resolución y nitidez (Figura 6) (Calvo y Lang, 2005). Es considerada el centro fisiológico del ojo y define el eje de fijación (línea imaginaria que une el centro de rotación con el punto de fijación) (Figura 4); ello hace que los objetos que se proyectan sobre la fóvea den la impresión de estar frente a nosotros y en línea recta.

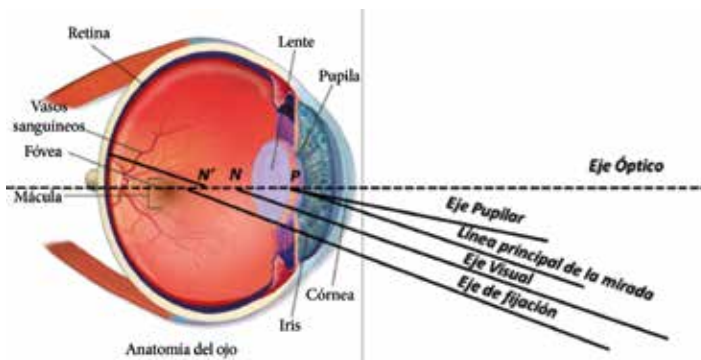


Figura 4. Ejes y ángulos del ojo. Fuente: Blausen.com staff. (2014). Medical Gallery of Blausen Medical 2014. *WikiJournal of Medicine*, 1(2), p. 10. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0389_EyeAnatomy_02.png

La parafóvea es una región en forma de cinturón alrededor de la fovea. Está compuesta por más de cinco filas de células ganglionares y contiene la mayor densidad de conos. Se extiende en un radio de 1,25 milímetros de la fovea central (Figuras 3 y 4) y comprende 5 grados alrededor del punto de fijación, lo que permite recolectar información del campo visual. Junto con la periferia, está implicada en la percepción fuera del foco de atención. Cuanto más lejos del centro aparecen los objetos, más probable es que sus detalles se desvanezcan y su identificación será progresivamente más deficiente (Figuras 6, 7 y 8) (Calvo, Nummenmaa y Hyönä, 2008).

Para que los estímulos del entorno sean fijados en la fovea, es necesario que se produzcan movimientos oculares, así como sistemas que integran la cabeza, los ojos y los oídos para proveer información sobre el entorno visoespacial; los estímulos visuales son conducidos del campo periférico al campo visual central.

El primer sistema es el vestíbulo-ocular (VOR), asociado con el reflejo oculo vestibular. Produce un movimiento conjugado lento de ambos ojos en oposición a la rotación de la cabeza. Tiene como principal función estabilizar las imágenes en la fovea mientras hay cambios en el movimiento de la cabeza. El sistema vestibular, situado en el oído, permite conocer la dirección de los movimientos de la cabeza; ello activa el sistema oculomotor para compensar dichos movimientos (coordinación de los de los ojos con los de la cabeza) y mantener la experiencia perceptiva visual (Micheli, Nogués, Asconapé, Fernandez y Biller, 2003; Pons y Martínez, 2004; Hung y Ciuffreda, 2013).

El segundo sistema es el optocinético (OKN, por su nombre en inglés), que posibilita fijar la mirada en un punto del campo visual (Leigh, y Zee, 2015). Estos dos sistemas forman parte de la categoría de movimientos involuntarios.

El tercer sistema es el de vergencia. Permite rastrear y fijar objetos en la cercanía (convergencia) o en la distancia (divergencia), a partir de movimientos desconjugados lentos (Horsley et al., 2013; Khazali, Pomper, Smilgin, Bunjes y Thier, 2016).

El cuarto sistema es el de persecución. Produce movimientos lentos que tienen como meta mantener el objeto proyectado sobre la fovea.

El último sistema es el de movimientos sacádicos o de refijación, que permiten desplazar con rapidez la fijación de un punto a otro del campo visual. Estos dos últimos son movimientos voluntarios (Figuerolla, 2002; Gila, Villanueva y Cabeza, 2009; Zarranz, 2013; Leigh y Zee, 2015).

En los tres tipos de movimientos oculares desencadenados por estos cuatro sistemas participan seis pares de músculos extraoculares (Figura 5). Los músculos rectos mediales y laterales están involucrados en las rotaciones horizontales (aducción y abducción); los movimientos verticales (elevación y depresión) se producen por

contracciones cooperativas de combinaciones del músculo recto superior y del inferior y pares de músculos oblicuos superiores e inferiores; y los movimientos de torsión (intorsión y extorsión) están asociados con neuronas motoras que inervan los músculos extraoculares del III par (oculomotor), IV par (troclear) y VI par (abducetes) (Sparks, 2002).



Figura 5. Músculos relacionados con los movimientos oculares. Fuente: Lynch, P. J. (2006a). *Eye Movements Depressors*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Eye_movements_depressors.jpg; Lynch, P. J. (2006b). *Normal Anatomy of the Human Eye and Orbit, Anterior View*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eye_orbit_anatomy_anterior2.jpg; OpenStax. (2016). *Open STax Anatomy and Physiology*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1107_The_Extrinsic_Eye_Muscles.jpg

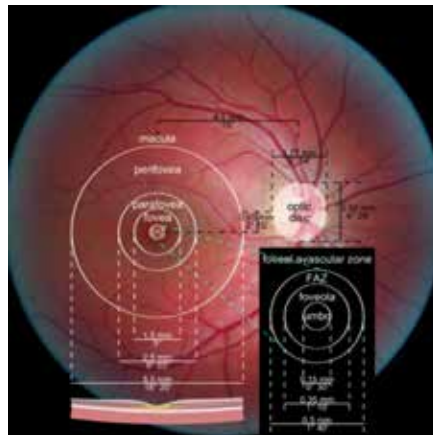


Figura 6. Ubicación de la fovea y la parafóvea en el ojo humano. Fuente: Yandle. (2008). *My Right Eye*. Recuperado de <https://www.flickr.com/photos/yandle/2607304048/in/photostream/>
Foto de la retina del ojo humano, con diagramas superpuestos que muestran la posición y el tamaño de la mácula, la fovea y el disco óptico.

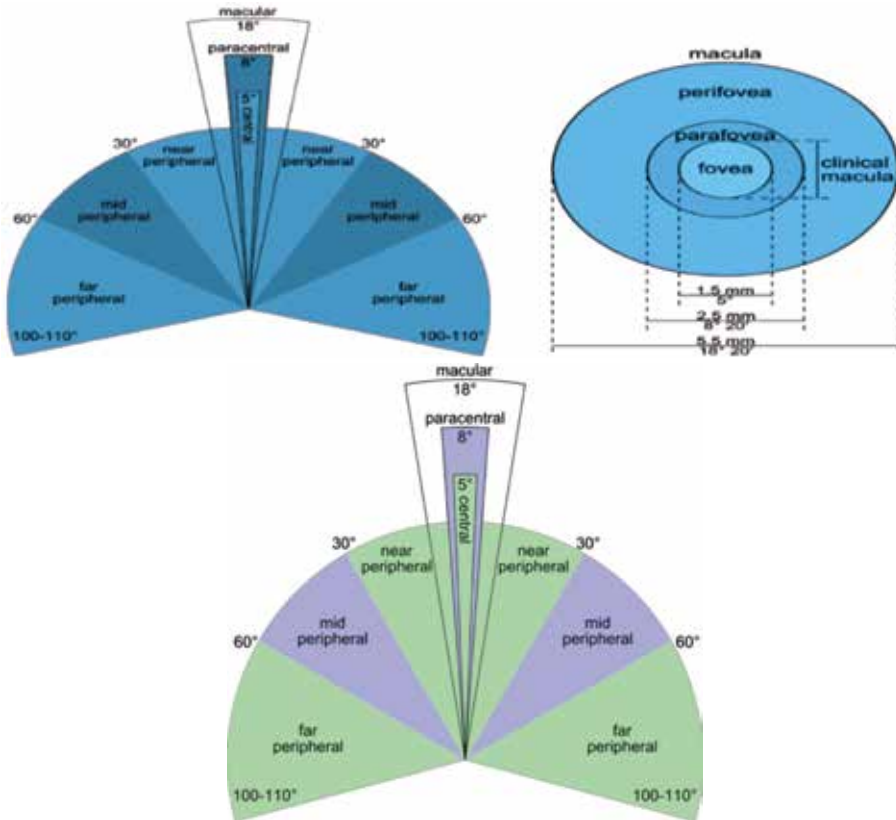


Figura 7. Visión foveal y parafoveal en el ojo humano. Fuente: Zywxv99. (2014). *Human Field View (FOV) for Both Eye Showing Fa, Mind- and Near Peripheral Vision, Macular, Paracentral and Central (Foveal) Vision, as Well as Range of Foveal and Foveal Umbo*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Peripheral_vision.svg

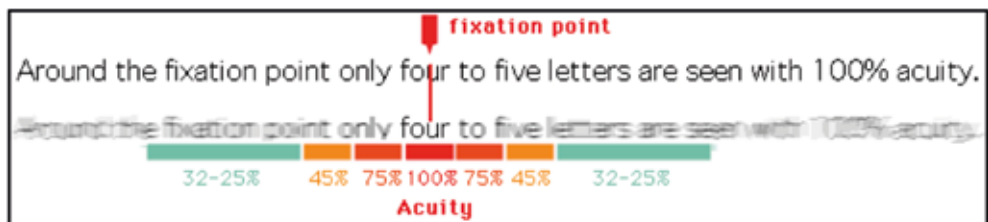


Figura 8. Punto de fijación y exactitud. Fuente: Hunziker, H. (2008). *Eye Fixations Reading*. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EyeFixationsReading.gif>

Los movimientos oculares están vinculados con la fijación, los movimientos sacádicos, el seguimiento y el restablecimiento de la torsión del ojo.

a. Fijación. Es la acción por la cual es posible enfocar las imágenes u objetos en la fóvea (Figuras 5 y 6). Se produce durante aproximadamente 300 mseg, tiempo que el ojo permanece relativamente inmóvil. De la fijación podemos obtener los datos de duración y de frecuencia (Figura 8). Además, está vinculada al estudio de la atención.

La duración de la fijación ofrece información acerca de los estímulos que resultan de mayor interés o importancia para el participante. Está vinculada con alternaciones en ciertas regiones cerebrales encargadas de procesar la información de un objeto hacia el cual un observador dirige la mirada (Cooke, 2005). Sobre este aspecto se profundizará más adelante.

La frecuencia se refiere al número total de fijaciones en la escena y a su eficiencia. Cooke (2006) sostiene que cuanto menor es el número de fijaciones, más eficiente es la búsqueda; esto dependerá del tipo de información que se procese acerca de un objeto y del mecanismo que se utilice para ello, es decir, si la información se elabora a partir de características como el color, el tamaño, la orientación o el movimiento, de mecanismos automáticos (bottom-up) o de mecanismos controlados (top-down). Estos mecanismos se ampliarán en el apartado de determinantes cognitivos de la fijación y de los movimientos oculares.

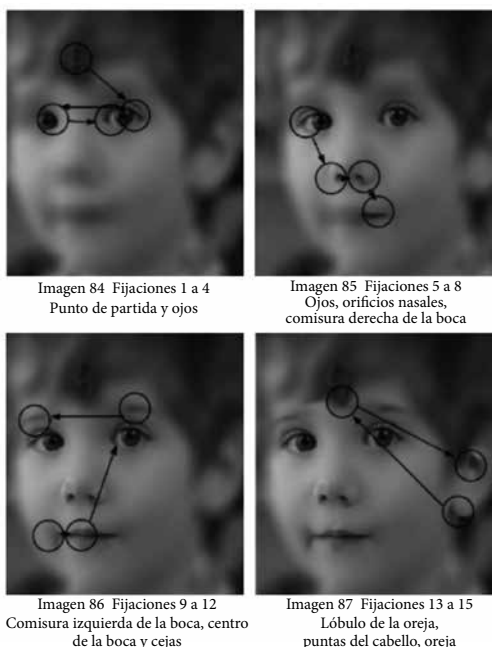


Figura 9. Visión a partir del punto de fijación. Fuente: Hunziker, H. (2006). *Im Auge des Lesers: Foveale und Periphere Wahrnehmung - vom Buchstabieren zur Lesefreude*. Recuperado de https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Face_recognition_first_5_seconds.jpg

b. Movimientos sacádicos. Son pequeños saltos rápidos y precisos sometidos tanto a un control voluntario como involuntario o inducido, responsables del reconocimiento y del procesamiento de información visual y asociados con movimientos de la cabeza.

Están encargados de conseguir un cambio de blanco para percibir diferentes imágenes, así como de enfocar una de ellas para diferenciar características como la forma, el color, el tamaño, la ubicación y la distancia (Tabla 1) (Gila et al., 2009).

Los movimientos sacádicos voluntarios y autoinducidos son provocados por la aparición de un estímulo específico o como respuesta a órdenes, por ejemplo, “mire a la derecha” o “mire hacia abajo”. No están determinados por cambios en la periferia, sino que están guiados internamente por procesos cognoscitivos como la memoria, la atención, la monitorización y el control inhibitorio (Crevits y Vandicrendonck, 2005; Cooke, 2005). Los movimientos sacádicos voluntarios están acompañados de movimientos prosacádicos, encargados de dirigir la mirada hacia un nuevo estímulo, así como de movimientos antisacádicos, encargados de alejar la mirada de un estímulo (Gila et al., 2009).

Por otro lado, los involuntarios son respuestas reflejas de orientación desatadas por la aparición súbita de un estímulo en la periferia del campo visual, por un cambio inesperado en el ambiente o por la presencia de un estímulo novedoso (Crevits y Vandicrendonck, 2005). Se relacionan con la supervivencia, pues permiten detectar rápidamente señales de peligro (Duchowski, 2017).

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los parámetros que caracterizan los movimientos sacádicos.

c. Seguimientos. Son los movimientos oculares lentos conjugados de rastreo, que tienen como fin mantener la fijación en un blanco en movimiento (Micheli et al., 2003). Involucran regiones del cerebro como la corteza visual primaria, la corteza visual extraestriada, los núcleos pontinos dorsales, el flóculo, el vermis del cerebelo y los núcleos vestibulares.

Tabla 1. Parámetros para la caracterización de los movimientos y micromovimientos asociados con la fijación visual

Movimientos sacádicos	
Amplitud máxima	30 % desplazamientos superiores requieren movimiento de la cabeza.
Duración	30-120 ms, según amplitud del desplazamiento.
Velocidad angular máxima alcanzada durante una sácada	Hasta 1000 grados/s
Relación principal	Relación constante entre amplitud y velocidad máxima: cuanto mayor amplitud del movimiento, mayor velocidad máxima. La dirección y la velocidad no se pueden modificar una vez lanzado el movimiento.
Latencia o tiempo de reacción sacádica	Tiempo entre la aparición de un estímulo y el inicio de la sácada 180-300 ms. En condiciones normales se producen movimientos de menor latencia (80-100 ms) llamados sacádicos exprés. Dependen de un predominio de los mecanismos reflejos de respuesta a estímulos.
Período refractario motor	100-200 ms siguientes al término de una sácada durante los cuales no puede iniciarse voluntariamente un nuevo movimiento sacádico.
Tiempo mínimo de fijación	200-350 ms. Comprende el período refractario motor y un tiempo de procesamiento cognitivo del objeto enfocado (50 ms mínimo). Existe una relación directa entre la fijación y la amplitud de la sácada precedente: la fijación es más larga cuanto mayor ha sido el desplazamiento sacádico anterior.

Nota: adaptado de Gila, L. et al. (2009). Fisiopatología y técnicas de registro de los movimientos oculares. *Anales del sistema sanitario de Navarra*, 32(3), p.11.

En la Tabla 2 se presenta un resumen con los parámetros para la caracterización de los micromovimientos asociados con la fijación visual.

Tabla 2. Parámetros para la caracterización de los micromovimientos asociados con la fijación visual

Derivas o fluctuaciones (drifts)	Irregulares y lentos ($0,1^\circ/s$) centrífugos y de 2-5 minutos de arco de amplitud.
Microsácadas (flicks)	Muy rápidos, amplitud $<1^\circ$, para corregir la posición cuando las derivas han alejado excesivamente la imagen del centro de la fóvea o cuando la fijación en un punto estacionario excede los 300-500 m.
Temblor (trebor)	Oscilaciones de alta frecuencia (30-150 hztz) y muy baja amplitud (24 s) que se superponen a los otros movimientos.

Nota: adaptado de Gila, L. et al. (2009). Fisiopatología y técnicas de registro de los movimientos oculares. *Anales del sistema sanitario de Navarra*, 32(3), p. 11.

d. Restablecimiento de la torsión del ojo. Este movimiento fue descubierto por un grupo de científicos en 2016. Se sincroniza con el parpadeo, ayuda a que el ojo se reajuste después de que se genera una torsión (movimiento que se produce cuando se observa un objeto giratorio) y permite que se estabilice la imagen. Ocurre de manera automática cuando parpadeamos (Khazali et al., 2016).

En enfermedades como el párkinson, de Huntington, de Wilson y parálisis supranuclear progresiva, este tipo de movimiento se ve afectado.

Dado que la búsqueda visual es la exploración de un objeto único entre una colección de objetos distractores, mediante el eye tracking, interesa analizar los datos que se obtienen de: a) la dirección de la fijación; b) los movimientos oculares; c) la secuencia que siguen los ojos entre cada fijación y cada movimiento sacádico; d) el tiempo que dura la fijación; e) la revisión exhaustiva; f) la indiferencia selectiva; g) el área de interés; h) las zonas de una escena visual que se percibe con mayor nitidez, e i) gran cantidad de información sobre el mundo externo mediante la visión periférica (Horsley et al., 2013; Leigh y Zee, 2015).

3

NEUROBIOLOGÍA DE LOS MOVIMIENTOS OCULARES

Para que la visión sea posible deben intervenir varios sistemas, que dependen de circuitos neuronales que conectan múltiples áreas del cerebro involucradas en funciones visuales (Duchowski, 2017; Micheli et al., 2003). A continuación se mencionarán las principales regiones del cerebro relacionadas con los movimientos oculares.

Campo ocular frontal o frontal eye fields (FEF)

Es un campo de la corteza frontal. Funciona como un punto de integración de otras regiones ubicadas lejos de él y que participan en la producción de movimientos oculares, como el campo ocular suplementario (SEF), el campo ocular precomplementario (pre-SEF), la corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC), el campo ocular cingulado (CEF), la corteza cingulada anterior y la corteza frontal dorso-medial, en el lóbulo parietal y áreas de la corteza parietal posterior (PPC), entre otras (Ding, Powell y Jiang, 2009; Vernet, Quentin, Chanes, Mitsumasu y Valero-Cabré, 2014).

Se encarga de los movimientos conjugados o sacádicos de los ojos, en especial del lado opuesto, con el propósito de percibir y tener conciencia del campo visual. Se comunica con los músculos extraoculares indirectamente por medio de la vía de la formación reticular pontina paramediana. Esta región también se encarga de controlar los movimientos oculares voluntarios y es independiente de estímulos visuales (Gitelman, Parrish, Friston y Mesulam, 2002).

En el campo cognitivo participa en atención visoespacial, la conciencia visual y la modulación perceptual. Del mismo modo, acelera la discriminación y aumenta la detección visual (Vernet et al., 2014; Petersen y Posner, 2012).

Área motora suplementaria (SMA)

Esta región forma parte de la corteza motora. Asociada con el área premotora, contribuye con el movimiento de los ojos. Está implicada en la preparación, iniciación, planeación, secuenciación y el monitoreo de movimientos complejos, así como en la recepción de estímulos sensitivos. Se involucra en etapas tempranas del aprendizaje que requieren guía visual. Es responsable de movimientos autoiniciados, es decir, movimientos voluntarios cuya ejecución se lleva a cabo de forma automática (Petersen y Posner, 2012) (Figura 10).

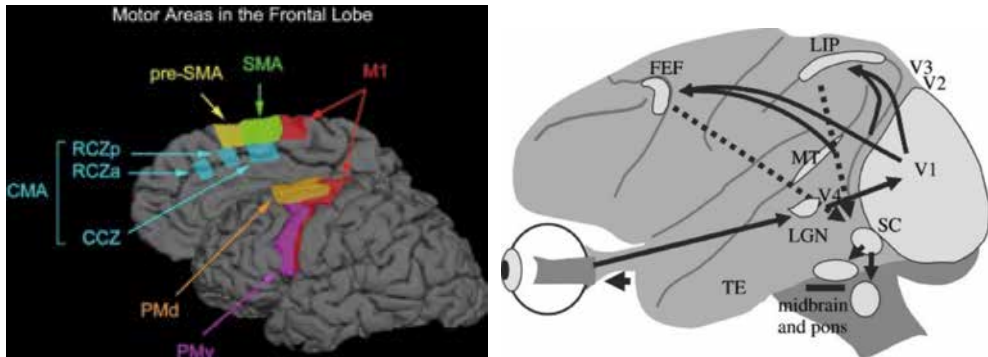


Figura 10. Área motora suplementaria y campo visual frontal. Fuente: Chouinard, P. A. y Paus, T. (2010). What have We Learned from "Perturbing" the Human Cortical Motor System with Transcranial Magnetic Stimulation? *Frontiers in Human Neuroscience*. Recuperado de <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fn-hum.2010.00173/full>; Wurts, R. H. (2015). *Brain Circuits for Visually Guided Saccades*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brain_circuits_for_visually_guided_saccades.jpg

Ganglios basales

Son estructuras subcorticales que forman un circuito que tiene como función iniciar e integrar el movimiento. Tienen aferencias y eferencias con regiones del cerebro como la corteza cerebral y el tronco encefálico.

Estas estructuras son masas de sustancia gris que incluyen: a) el núcleo caudado; b) el núcleo lenticular (putamen y el globo pálido); c) la amígdala; d) el estriado; e) la sustancia negra; f) el núcleo subtalámico, y g) el tálamo (Petersen y Posner, 2012).

Debido a que reciben aferencias de regiones frontales y a que envían sus proyecciones al colículo superior, tienen un papel relevante en el control de los movimientos sacádicos, así como en la mediación de las recompensas esperadas o recibidas (Duchowski, 2017) (Figura 11).

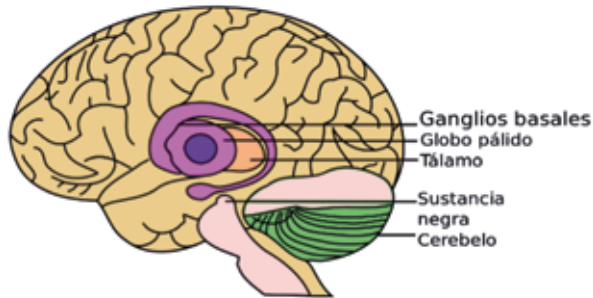


Figura 11. Ganglios basales. Fuente: Henkel, J. (2011). *Ganglios basales y estructuras cerebrales relacionadas*. Recuperado de https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Basal_Ganglia_and_Related_Structures_es.svg

Colículo superior

Forma parte del techo del mesencéfalo. Está organizada en capas que reciben eferencias visuales de otras estructuras como el tracto óptico y la corteza visual y envían información (eferencias) hacia regiones como el pretectum y los núcleos visuales del tálamo. Una de sus más importantes funciones es la participación en la iniciación de los movimientos oculares, en la coordinación de los movimientos asociados de cuello y cabeza (Nieuwenhuys, Voogd y Van Huijzen, 2009) y en los reflejos remanentes posteriores a una lesión en la corteza visual primaria (García, León y Cárdenas, 2009).

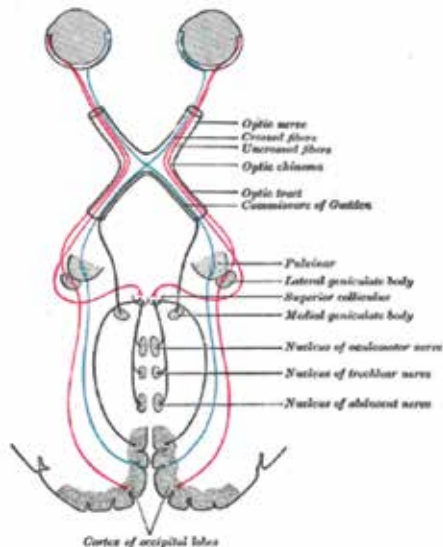


Figura 12. Colículo superior. Fuente: Gray, H. (1912). *Anatomy of the Human Body*. Recuperada de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray722.png>

Trabaja concertadamente con el campo ocular frontal (FEF) y el área intraparietal para seleccionar el objetivo visual perseguido y se activa por medio de señales de entrada de movimientos.

En el área cognitiva, el colículo superior se relaciona con la valoración emocional de los estímulos visuales (García et al., 2009).

Área V1 (corteza visual primaria)

Está involucrada en la detección del rango de estímulos, sobre todo de orientación (Duchowski, 2017).

Áreas V2, V3, V3A y V4

Procesan información de forma, color y movimiento (Duchowski, 2017).

Área temporal media (V5/MT) y temporal superior media (MST)

Proporcionan grandes proyecciones al tronco encefálico, lo que hace altamente probable que estén involucrados en movimientos suaves de persecución y en el procesamiento de movimientos. El área MT también se proyecta hacia el colículo y proporciona señales de movimiento de todo el campo visual (Duchowski, 2017).

Área intraparietal lateral (LIP)

Contiene campos receptivos que se corrigen antes de la ejecución de movimientos oculares sacádicos (Duchowski, 2017).

Complejo parietal posterior (PPC)

Implicado en las fijaciones y en las modulaciones atencionales de las respuestas neuronales de la corteza visual (Duchowski, 2017). Mulckhuyse, Engelmann, Schutter y Roelofs (2017) han encontrado que esta región está involucrada en la desvinculación de la atención de los estímulos emocionalmente destacados, con el fin de reorientar la atención hacia los estímulos relevantes. Además, sostienen que puede estar implicada en trastornos de ansiedad asociados con dificultades para desvincularse de los estímulos amenazantes; ello se evidencia en tiempos de reacción más lentos en presencia de distractores, un procesamiento de información bottom-up, es decir, en ausencia de control atencional y un tiempo de permanencia de la atención mayor en el distractor antes de que la atención se desenganche de este para cambiar a un estímulo menos destacado.

4

DETERMINANTES COGNOSCITIVOS DE LAS FIJACIONES Y DE LOS MOVIMIENTOS OCULARES

El sistema de procesamiento visual humano está limitado por variables temporales, especiales, biológicas y cognitivas, lo que conduce a este sistema a desarrollar diversas estrategias con el fin de facilitar el procesamiento de la variada y enorme cantidad de información que ofrece el entorno. Se adecuó para favorecer las posibilidades de supervivencia y adaptación y se vinculó con procesos de percepción, acción e interacción social (Tatler et al., 2014) que actúan realimentando un sistema que les permite a las personas obtener información que les ayudará a desempeñar tareas.

Las estrategias que facilitan el procesamiento de información visual en los seres humanos se han dividido en dos: aquellas capaces de procesar características visuales de baja complejidad como color, forma, orientación y tamaño, por medio de mecanismos preatencionales de abajo-arriba, es decir, no consumen muchos recursos cognoscitivos y están vinculados con la atención involuntaria. Por otra parte se encuentran las estrategias que procesan características visuales de alta complejidad como el significado y las relaciones semánticas por medio de mecanismos atencionales de arriba-abajo, que consumen una gran cantidad de recursos cognoscitivos y están destinados a resolver una tarea particular (Karsh y Breitenbach, 1983; Le Meur, Le Callet, Barba, Thoreau y Francois, 2004).

Se pensaba que las propiedades del estímulo visual como color, tamaño, forma y orientación determinaban las fijaciones y los movimientos oculares; no obstante, los experimentos sobre percepción visual de Stratton (1896) mostraron que probablemente existía otro tipo de elementos ligados a factores internos del observador (Tatler et al., 2014; Calvo y Lang, 2005), responsables de filtrar, transformar, organizar, almacenar, elaborar y utilizar la información visual que aporta el mundo físico, con el fin de dar respuesta a las constantes demandas cambiantes del entorno (Neisser, 1967; Lauwereyns y D'Ydewalle, 1996). Ello ha llevado a Wu, Wick y Pomplum (2014) a

afirmar que el significado y la información semántica que adquiere un objeto en un contexto determinado también son responsables de dirigir las fijaciones y los movimientos sacádicos.

Hoy se sabe que las estrategias que procesan información de baja complejidad se han vinculado con los movimientos oculares sacádicos, mientras que las fijaciones se han asociado con las características de alta complejidad (Ibbotson y Krekelberg, 2011). Ambos se han convertido en el foco de interés de un gran número de investigaciones, debido a que aportan una amplia variedad de información sobre aspectos cognoscitivos, afectivos y comportamentales. La pregunta que se hacen los investigadores es: ¿qué factores están relacionados con los objetivos del observador y con las características de los estímulos para priorizar las decisiones sobre las fijaciones y los movimientos oculares?

En la manera como estos procesos se llevan a cabo influyen, al menos, cuatro determinantes cognitivos:

1. Procesamiento de arriba-abajo (top-down) y procesamiento de abajo arriba (bottom-up). Estos son dos mecanismos de control a partir de los cuales se desarrolla la atención visual. Durante el procesamiento arriba-abajo (top-down), los cambios atencionales se llevan a cabo bajo el control de la persona, de manera volitiva, en función de expectativas cognoscitivas y de los requisitos de la tarea o meta planteada. Es un mecanismo lento y seriado; por ello, depende de la tarea específica. Por ejemplo, cuando una persona debe decidir entre dos opciones, procesa la información que proviene de un objeto, identifica los rasgos que comparte con otros similares, luego detecta las asimetrías y selecciona lo que está buscando (Ramírez y Ramírez, 2010).

En el procesamiento abajo-arriba (bottom-up), los cambios en la atención son automáticos, dirigidos por las propiedades y los rasgos físicos del estímulo presentado. Se conocen como procesos preatencionales y dependen de la prominencia del objeto observado. Se elabora información en paralelo, de manera que se puedan percibir varias características de un objeto al mismo tiempo.

Cuando una persona debe observar una imagen compleja que contiene muchos elementos, el cerebro debe usar la información disponible para parcializar la competencia por el procesamiento visual a favor de ciertos objetos. Los resultados de diversos experimentos han dejado ver que cuando se hace una búsqueda visual a partir de la cual se debe seleccionar un objeto entre una serie de elementos distractores, el tiempo de reacción para encontrarlo dependerá, entre otros factores, del número de distractores. Si los elementos distractores son muy similares al objeto que debe ser identificado (buscar a un amigo rockero en un concierto de rock), el tiempo

de reacción es más lento que cuando los elementos distractores son muy diferentes (buscar a un amigo rockero en un concierto de reguetón); este tiempo se incrementa sustancialmente cuando aumenta el número de distractores (Tatler et al., 2014).

2. Naturaleza de la información: baja o alta probabilidad de aparición. En 1978, Loftus y Mackworth hicieron un experimento para indagar hacia dónde dirigía la mirada un observador humano que veía una imagen. Los estudios previos ya habían señalado que cuando una persona observaba una imagen, no veía toda la figura, sino que fijaba la atención en pequeños puntos. Esta investigación apuntaba a explicar qué hacía que una persona se fijara más en una información que en otra.

Los resultados mostraron que los observadores enfocaban la mirada antes, con mayor frecuencia y durante más tiempo en un objeto con baja probabilidad de aparecer en la escena (una vaca nadando en el mar) que en un objeto que tuviera alta probabilidad de aparecer (una persona vestida de ejecutivo en una mesa de juntas). Esta investigación tuvo impacto en los estudios sobre memoria, procesamiento visual periférico y naturaleza de la información que se adquiere.

3. La consistencia de la escena: información semántica y sintáctica como orientadoras de los movimientos de los ojos. La consistencia de la escena ha sido una de las líneas de investigación en relación con los movimientos oculares. El debate central se ha orientado a determinar si los movimientos oculares que facilitan la percepción de un objeto en una escena están definidos por la configuración apropiada de la misma o si son independientes de la escena. De este debate se han desprendido dos líneas: por un lado están las que tienen por objetivo estudiar por medio de los movimientos oculares cómo se procesa información visual sobre objetos que no son semánticamente consistentes con las características de una escena (violaciones semánticas) y, por otro, las que pretenden comprender por medio de los movimientos oculares cómo se procesa información visual de los objetos cuando, aun al ser consistentes semánticamente, se encuentran ubicados en un lugar de la escena que es inusual (violaciones sintácticas) (Hwang, Wang y Pomplun, 2011).

Si bien hasta ahora no existe consenso frente a los mecanismos que subyacen ni a las fijaciones ni a los movimientos sacádicos durante la observación de violaciones semánticas o sintácticas, sí se puede afirmar que ambos influyen en la forma como las personas perciben y procesan información sobre los objetos que conforman una escena particular (Bonitz y Gordon, 2008; Joubert, Fize, Rousselet y Fabre-Thorpe, 2008; Loftus y Mackworth, 1978).

4. La intención de acción influye en el despliegue de la atención. Hayhoe (2000) revisó una serie de experimentos que utilizaban una tarea visomotora extendida y

concluyó que el sistema visual solo representaba la información necesaria para la ejecución de una labor visual inmediata. En uno de los experimentos se les pedía a los participantes preparar una taza de té o un sándwich y se ubicaban frente a una mesa que solo tenía los artículos necesarios para hacer la tarea o frente a otra que tenía objetos tanto relevantes como irrelevantes. Los resultados mostraron que, si bien había fijaciones sobre los objetos irrelevantes, el porcentaje más alto de fijaciones se produjo sobre los relevantes y que el período de visualización surgía antes de que comenzara la tarea. Posterior al inicio de la ejecución, los objetos irrelevantes rara vez se fijaban y casi todas las fijaciones correspondían a los elementos relevantes. Se concluyó que la visión actuaba para informar sobre el comportamiento, ya que los ojos precedían a las acciones, al fijar los objetos requeridos para el siguiente paso del proceso. En muchos casos, antes de que comenzara una acción, la intención de llevarla a cabo influía en cómo los participantes veían una escena, incluso cuando la intención era creada por una manipulación aparentemente menor, como la ejecución de un tipo de agarre en particular.

Estudios como estos hicieron que Tatler y otros autores (2014) afirmaran que la acción estaba vinculada con la percepción de forma bidireccional, de manera que la percepción informaba sobre el rendimiento de la acción y la acción afectaba los procesos perceptivos. Ello sugiere que la percepción no actúa de forma pasiva y que, en conjunto con la acción, permite la construcción de una representación visual del mundo.

5. La percepción de la mirada influye sobre la cognición social. La percepción de la mirada desempeña un papel importante en la vida cotidiana, en particular en las interacciones sociales. Según Emery (2000), esto parece deberse a un aspecto morfológico de los ojos humanos: una mayor exposición de la esclerótica blanca en comparación con el tamaño y el color del iris. Este rasgo físico de los ojos ha favorecido a lo largo de la evolución humana una comunicación visual más efectiva mediante la mirada y una mayor posibilidad de supervivencia (Chen, 2018).

Estudios antropológicos y biológicos han encontrado que la mayor exposición de la esclerótica permite a los seres humanos usar la orientación de los ojos (y no de la cabeza, como ocurre con otros primates) para reconocer la intención de la mirada, lo que favorece los comportamientos de cooperación, la posibilidad de predecir el comportamiento de aquellos con quienes interactuamos, la identificación de emociones, la construcción de vínculos sociales y la teoría de la mente, entre otros fenómenos sociales (Tomasello, 2010; Tatler et al., 2014). El reconocimiento de la dirección de la mirada señala el objetivo inmediato o futuro, con lo cual la percepción de la mirada adquiere una función cognitiva significativa en las interacciones sociales (Yokoyama,

Sakai, Noguchi y Kita, 2014; Galfano et al., 2012; Burton, Bindemann, Langton, Schweinberger y Jenkins, 2009). Esta capacidad del ser humano ha motivado una serie de investigaciones sobre la forma en la que los movimientos oculares influyen sobre la atención y la interacción social (Emery, 2000).

Hasta ahora, los estudios han concluido que en condiciones de laboratorio las personas suelen realizar un mayor número de fijaciones sobre los ojos de las personas a quienes observan (Ricciardelli, Bricolo, Aglioti y Chelazzi, 2002; Birmingham, Bischof y Kingstone, 2009), pero en condiciones naturales de interacción con personas con quienes se tiene un vínculo o con extraños, las fijaciones se dirigen más a las acciones que estas ejecutan que a los ojos, lo que ha llevado a Macdonald y Tatler (2018) a concluir que el contexto social puede afectar el comportamiento visual.

La capacidad para aprender del mundo a partir del procesamiento de la información visual de aquellos con quienes se interactúa, así como para utilizar señales visuales como fuente de información, parece estar comprometida en condiciones como autismo, esquizofrenia, trastorno bipolar y ciertas lesiones cerebrales en las que se ve afectada la amígdala; por ello, los estudios sobre la percepción de la mirada ayudan en el diagnóstico diferencial (Emery, 2000).

5

CONDICIONES PARA EL DISEÑO Y EL REGISTRO DE ESTUDIOS CON EL EYE TRACKER MOBILE EYE XG

En esta sección se presentan los alcances y las limitaciones en el uso del eye tracking, así como algunas claves para el diseño de los estudios y registro de datos que incluyen esta tecnología.

Lo primero que hay que señalar es que el uso de los eye trackers puede resultar complejo, pese a los avances tecnológicos que han intentado convertirla en una herramienta más sencilla; por tal razón, es necesario el desarrollo de habilidades específicas mediante el entrenamiento práctico y la fundamentación teórica (Holmqvist et al., 2011).

Cabestrero, Conde, Crespo, Grzib y Quiroz (2005) han dicho que es importante estar familiarizados con los *softwares* que usan los equipos, en especial cuando se pretende combinar el eye tracking con otras tecnologías como las de realidad virtual o cuando se planea tomar otras medidas biométricas, ya que en ocasiones no son compatibles y se toma la medida de forma separada. Por ejemplo, el eye tracker Mobile eye XG solo es compatible con el *software* Paradigm, usado para el diseño de los experimentos y apenas se conecta con otros sensores biométricos, de modo que, cuando se quiere tomar varias medidas en investigaciones multimodales, es imprescindible acudir a otros *softwares*, lo que dificulta planear una investigación.

Por otro lado, el registro de datos es el centro de las investigaciones basadas en las tecnologías eye tracking. Por ello, es importante considerar que algunas situaciones pueden afectarlo, como una inadecuada calibración, el ambiente en el que se registrará la información o las condiciones de luz (Cabestrero et al., 2005; Pernice y Nielsen, 2009).

La calibración puede ser difícil y tomar mucho tiempo². Se define como el proceso por el cual se estiman las características geométricas (tamaño de la escena y distancia entre esta y el ojo), con el fin de personalizar y precisar el punto de la mirada, debido a que cada globo ocular es diferente. Se requiere una nueva calibración con cada uno de los participantes y es aconsejable hacer seguimiento a la calibración que ya se ha hecho.

En algunas ocasiones, la calibración es imposible o la lectura de los datos resulta errónea. Pernice y Nielsen (2009) han encontrado dificultades en los siguientes casos:

- a. Cuando las personas usan gafas bifocales o trifocales, es decir, lentes progresivos. Algunos participantes de los experimentos desconocen la fórmula de sus gafas y ello hace que se pierda tiempo intentando una calibración imposible de lograr.
- b. Cuando los participantes utilizan gafas con marcos de pasta gruesa y de colores.
- c. Cuando el participante tiene la pupila permanentemente dilatada.
- d. Cuando la persona tiene diagnóstico de glaucoma o cataratas.
- e. Cuando el participante es de estatura muy alta o muy baja. Esto hace que la silla o el monitor no se ajusten y se afecta la calibración. Pernice y Nielsen (2009) sostienen que, aunque esta no es una situación frecuente, debe contemplarse.
- f. Cuando el participante tiene pestañas largas, gruesas, usa mucha pestañina o usa pestañas postizas.

También es importante considerar las condiciones de luz, en especial cuando se utilizan gafas. Si la calibración se efectúa en un ambiente muy iluminado y luego se registra una escena oscura, el contraste entre la pupila y el iris puede cambiar y esto afectará el registro de los datos.

Es aconsejable tomar medidas previas de la cognición global, de dominios cognoscitivos específicos (atención, funciones ejecutivas, memoria de trabajo y dominio visoespacial) y de la función visual (agudeza visual y contraste), mediante instrumentos como el Montreal Cognitive Assessment (MOCA test), el test del reloj y el test de la figura compleja o semicompleja de Rey-Osterrieth, ya que las alteraciones en algún dominio cognitivo pueden afectar el registro de los datos.

² Para ver los aspectos relacionados con la calibración puede solicitar acceso al manual de cada eye tracker.

Cuando el experimento esté diseñado para guiar la mirada hacia metas particulares, se recomienda diseñar un protocolo con las instrucciones claras que se le darán a cada participante sobre lo que debe observar, a menos que el experimento busque estudiar la observación pasiva. Cuando se ofrece una instrucción clara se facilita al experimentador el registro de datos y la interpretación de los resultados. Se ha visto, por ejemplo, que cuando una persona observa una imagen de una cocina y se le pide que prepare algo de comer, el patrón de movimiento de los ojos debe ser aprendido, con el fin de que el observador pueda elegir de la escena los objetos relevantes para ejecutar la tarea.

Es necesario establecer si se trata de la observación de una tarea natural (por ejemplo, observar una cocina y pedirle a una persona que prepare té y un sándwich) o una experimental (observar una imagen de una persona), ya que cada condición tiene un efecto diferente sobre el registro de los datos.

Por otro lado, si bien la precisión de las medidas que aportan los eye trackers son más o menos confiables, es importante tener en cuenta que la mayoría de estos aparatos tiene un error de 0,5 grados, es decir, la circunferencia de radio puede ser igual o menor a esta medida.

Otro punto que debe ser atendido es el diseño del estudio y la presentación de los estímulos. Algunos puntos que se expondrán aquí son transversales a cualquier estudio y otros dependerán del tipo de diseño que cada investigador elija; por ello podrían no formar parte de esta sección, pero dado que el lector puede no tener una formación amplia en diseños de investigación y que la mayoría de manuales y protocolos incluyen estos aspectos, se cree necesario hacer un recuento de ellos.

En primer lugar, para el diseño de los experimentos en los que se empleará la tecnología eye tracking, es imprescindible conocer las variables independientes (por ejemplo, tipo de textos, tipo de tecnologías, tipo de situaciones de interacción) que pueden tener un efecto sobre las variables dependientes (duración y número de fijaciones, tiempos de reacción, proporción de errores de dirección y proporción de corrección de errores, por mencionar algunas) bajo condiciones controladas, así como los procesos cognoscitivos y emocionales de los cuales se espera den cuenta de manera indirecta, las variables dependientes (atención, emociones y lenguaje, entre otros) (Holmqvist et al., 2011).

No debe olvidarse que variables como la edad, el sexo o el tipo de tarea, entre otras, tienen una influencia sobre los resultados de las investigaciones con las tecnologías eye tracking, razón por la cual se sugiere controlarlas (Duchowski, 2017). Si no se consideran adecuadamente todas las limitaciones y posibilidades, como la forma

en la que los participantes serán reclutados o las limitaciones visuales o auditivas para determinar su inclusión o exclusión, se presentarán obstáculos que alargarán el proceso tanto de recolección como de análisis de datos (Holmqvist et al., 2011).

Para el reclutamiento se sugiere preparar un cuestionario o una entrevista que recoja información pre y posexperimental, datos sociodemográficos de cada participante, su vinculación a otros estudios con eye tracking, el conocimiento que tiene de la situación o el escenario que observará y las condiciones ópticas que puedan afectar el estudio.

Luego del experimento se puede reunir información sobre la percepción y la actitud que tuvo cada persona sobre su participación, la facilidad de las instrucciones, el tiempo que requirió, la utilidad que percibió del estudio en el que participó y la posibilidad de colaborar en nuevos estudios con las mismas tecnologías (Holmqvist et al., 2011).

Como en toda investigación, no debe olvidarse que antes de llevar a cabo el estudio con los participantes es importante hacer un pilotaje con algunas personas, lo que ayudará a corregir errores y garantizará que el experimento se ajuste a lo planeado.

El tiempo de la presentación de los estímulos debe ser tenido en cuenta en el diseño, ya que el hecho de que en los sistemas portátiles el participante deba usar unas gafas que incluyen una cámara, aunque esta no sea pesada, llevarlas por un período prolongado puede resultarle incómodo.

Si bien la tecnología eye tracking permite recolectar información que no puede ser obtenida de otra manera, cabe señalar que las medidas que se toman no responden a preguntas sobre por qué un participante se fija en un estímulo o selecciona una escena en particular y tampoco si el participante evalúa de forma positiva o negativa una escena, por lo que se sugiere combinar con otros instrumentos de recolección de información como los reportes verbales (Scheiter y Van Gog, 2009). En el caso de estos últimos, se sugiere emplear protocolos de pensamiento en voz alta (protocolos orales), con los cuales es posible recoger información cualitativa sobre conocimientos metacognitivos o sobre las verbalizaciones de los participantes. Estos protocolos pueden ser aplicados de manera concurrente (durante la ejecución de la tarea) o retrospectiva (una vez la tarea ha sido ejecutada) (Navarro, Molina y Lacruz 2016).

Si en la planeación del estudio el investigador no solo está interesado en recopilar información sobre los movimientos oculares, sino también sobre la conducta verbal y no verbal de los participantes mientras observan una escena, como ocurre en los estudios de neuromercadeo, debe contemplarse la posibilidad de grabarlos mientras ejecutan las tareas solicitadas (Torrealba y Rosales, 2008).

Por último, se ha diseñado una serie de paradigmas de comportamiento para estudiar, a partir del uso de los eye trackers, la capacidad del cerebro para responder de manera flexible al entorno. Las principales tareas asignadas en estudios se mencionan a continuación.

La tarea antisacádica

En esta tarea se pretende evaluar las sácadas voluntarias, que dan cuenta del control flexible que se tiene sobre el comportamiento. Se pide al participante que evite mirar directamente hacia un estímulo que aparecerá en la pantalla de forma espontánea y que dirija la mirada hacia el lado opuesto del campo visual sobre el eje horizontal. Para ello, el participante debe inhibir de arriba hacia abajo una sácada automática y reflexiva. El rendimiento en estas tareas se puede contrastar con el de las tareas prosacádicas, en tanto la ubicación del estímulo sensorial y el objetivo de la sácada resultan compatibles (Munoz y Everling, 2004).

Personas diagnosticadas con ciertos trastornos neurológicos o psiquiátricos que afectan los lóbulos frontales o los ganglios basales (niños con TDAH, personas con síndrome de Tourette, enfermedad de párkinson y esquizofrenia) presentan dificultades en la ejecución (Munoz y Everling, 2004).

La tarea prosacádica

Tiene como objetivo evaluar la generación de sácadas reflexivas. Para su desarrollo se ubica al participante frente a la pantalla del computador, en donde aparece una imagen de una escena con diferentes estímulos y se le pide que fije la mirada en un punto central, denominado punto de fijación. Enseguida se le indica que dirija la mirada hacia un estímulo objetivo que aparece en el eje horizontal, bien sea a la derecha o a la izquierda de este, tan rápido como le sea posible.

Las condiciones experimentales para las tareas prosacádicas y antisacádicas son de dos tipos, en las cuales se manipula la presencia o ausencia del punto de fijación durante la aparición del estímulo objetivo.

En la primera condición, llamada de intervalo, se presenta el punto de fijación durante 1000 ms; después de este lapso, el punto desaparece y 200 ms después aparece el estímulo objetivo. Hay un intervalo de 200 ms entre el momento en que desaparece el punto de fijación y la posterior presentación del estímulo objetivo (Duchowski, 2017).

La segunda es la condición de traslape. Inmediatamente después del lapso de 1000 ms durante el que está presente el punto de fijación aparece el estímulo objetivo, sin que el punto de fijación hubiera desaparecido.

El parpadeo atencional (PA) y presentación serial visual rápida (rapid serial visual presentation, RSVP)

El parpadeo atencional es considerado un paradigma que estudia la reducción de la atención durante un período breve (200 a 500 ms) frente a la presentación de un segundo estímulo (Meinzer et al., 2004), a lo largo de una tarea de presentación serial visual rápida (rapid serial visual presentation).

6

ANÁLISIS Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DATOS

Existen al menos tres formas de analizar y procesar los datos obtenidos del eye tracking: a) los eventos; b) las representaciones gráficas, y c) las áreas de interés (AOI).

Holmqvist y otros autores (2011) definen los eventos como una entidad contable en los datos primarios registrados a partir de los movimientos oculares, como las fijaciones, las sácadas, el parpadeo y las búsquedas. Los eventos se analizan de acuerdo con su inicio, duración, velocidad o dirección, a los que se les asignan valores numéricos.

Las representaciones se entienden como el recálculo de un conjunto de datos que provienen de uno o varios ensayos, uno o varios participantes o del conjunto de datos. Estos forman un mapa de calor, un diagrama de secuencia principal o cualquier otra forma de representación de datos. Dichas representaciones no tienen valores numéricos y pueden existir grandes cantidades de matrices en las investigaciones, las cuales no son fáciles de interpretar y no aportan mayor utilidad a la investigación (Holmqvist et al., 2011).

Las AOI (en inglés, area of interest) son regiones del estímulo que aportan datos que el investigador decide recopilar. Permiten detectar y definir un mayor número de eventos, en la medida en que restringen los parámetros de análisis de las secuencias; incluyen permanencias (dwells), transiciones (transitions) y visitas (AOI hits). Sobre esto se hablará en el análisis de datos.

Los datos que se recogen mediante experimentos con eye tracking pueden ser analizados de dos formas: por medio de *software* o de análisis manual.

El *software* del Applied Science Labs (ASL) genera un conjunto de representaciones y animaciones, con el fin de resumir en una gráfica el comportamiento visual (en dónde fija el participante la atención y cómo hace el rastreo visual). Cada eye tracker cuanta con un *software* particular.

No obstante, la vasta cantidad de información con gran variabilidad inter e intrasujetos y algunos datos que producen confusión dificultan el análisis de los datos que son importantes para dar respuesta a la pregunta de investigación. Por esta razón se acude también al análisis manual, tarea que puede volverse un proceso tedioso, pues consume una gran cantidad de tiempo (Salvucci, 1999). El análisis manual conduce, por ejemplo, a una segmentación y etiquetado de los objetos, con el fin de procesar las fijaciones en los objetos presentes en un escenario. Labores como esta se han simplificado con el uso de herramientas tecnológicas como las ofrecidas por The LabelMe object-annotated image database (Russell, Torralba, Murphy y Freeman, 2008).

Dado que la mayoría de los sistemas de eye tracking arrojan datos brutos que incluyen al menos las coordenadas X y Y, una marca de tiempo que indica cuando ocurrió un evento determinado e información sobre el diámetro de la pupila o sobre la métrica de fijación, es necesario simplificar el análisis de datos, para lo cual diversos autores han propuesto una serie de algoritmos. Los algoritmos que se elijan para condensar la gran cantidad de datos en bruto estarán determinados por la pregunta de investigación (Sasson y Elison, 2012).

En tanto algunos de los algoritmos se describen de manera informal en diversos textos, Salvucci y Goldberg (2000) propusieron una taxonomía con algoritmos de identificación de la fijación, en un intento por formular una manera simplificada, pero útil, para interpretar los datos obtenidos por medio de las herramientas de eye tracking.

La taxonomía básica propuesta por Salvucci y Goldberg (2000) está referida a las características espaciales y temporales. Para las características espaciales, los autores identifican tres criterios para distinguir los tres tipos primarios de algoritmos: a) velocidad base; b) dispersión base, y c) área base.

La velocidad base toma en cuenta que los puntos de fijación tienen una velocidad baja, mientras que los puntos sacádicos tienen una velocidad alta. Los algoritmos de dispersión base enfatizan en que la dispersión de los puntos de fijación ocurre generalmente uno cerca del otro. Por último, los algoritmos del área base identifican puntos dentro del área de interés (AOI), que representan un blanco u objeto visual relevante.

Para las características temporales, Salvucci y Goldberg (2000) consideran dos criterios: a) si el algoritmo usa información de duración, y b) si el algoritmo está localizado adaptativamente. El primer criterio se guía por el hecho de que la fijación raramente dura menos de 100 milisegundos y está casi siempre en un rango de 200 a

400 ms. El segundo criterio permite la interpretación de los datos de un punto dado que es influenciado por la interpretación de puntos temporales adyacentes.

Los cinco algoritmos propuestos por Salvucci y Goldberg (2000) se muestran en las Tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

Tabla 3. Abreviaturas del algoritmo

Abreviatura	Significado
I-VT	Identificación del umbral de velocidad de las fijaciones (velocity-threshold fixation identification).
I-HMM	Modelo oculto de Markov para la identificación de la fijación (hidden Markov model fixation identification).
I-DT	Identificación del umbral de dispersión (dispersion-threshold identification).
I-MST	Árbol de expansión mínima (minimum spanning trees).
I-AOI	Identificación de área de interés (area-of-interest fixation identification).

Nota: elaboración propia

Estos algoritmos tienen en cuenta que los ojos producen varios tipos de movimientos, entre los que se encuentran los sacádicos (desplazamientos rápidos de los ojos entre dos puntos de fijación) y los microsacádicos de fijación.

Tabla 4. Algoritmos generales propuestos por Salvucci y Goldberg

Criterio		Representación de algoritmos				
		I-VT	I-HMM	I-DT	I-MST	I-AOI
Espacial	Velocidad	X	X			
	Dispersión			X	X	
	Área					X
Temporal	Duración			X		X
	Localización		X	X	X	

Nota: adaptado de Salvucci, D. D. y Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye Tracking Protocols. En A. Duchowski (ed.), *Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium, ETRA 2000*. Palm Beach Gardens: ACM, p. 73.

En primer lugar, los algoritmos basados en la velocidad utilizan la velocidad del ojo para detectar la presencia de una fijación. Se asume que una fijación tiene una velocidad mayor ($< 100^\circ/\text{seg}$) que un movimiento sacádico. Se han descrito dos tipos de algoritmos para este caso: identificación del umbral de velocidad de las fijaciones y el modelo oculto de Markov para la identificación de la fijación.

Para la identificación del umbral de velocidad de las fijaciones (Tabla 5), en el protocolo se calcula la velocidad punto por punto. Cada velocidad se computa como la distancia entre el punto actual y el punto siguiente o el previo. Cada punto se clasifica como punto de fijación o sácada basado en el umbral de velocidad. Si el punto de velocidad está por debajo del umbral, se clasifica como fijación; si está por encima, como sácada. Luego se agrupan los puntos de fijación consecutivos y se descartan los puntos de sácada. Por último, cada grupo de fijación se traduce en una representación (x, y, t, d) , donde x y y representan el centro de masa o centroide, t es el tiempo del primer punto y d es la duración.

Tabla 5. Algoritmos basados en la velocidad. Identificación del umbral de velocidad de las fijaciones

Algoritmo
<p>Identificación del umbral de velocidad de las fijaciones (velocity-threshold fixation identification) (I-VT). Es el método de identificación más sencillo.</p> <p>Está basado en la velocidad que separa los puntos de fijación y los puntos de sácada en función de sus velocidades, punto a punto. Bajas velocidades para fijaciones ($< 100^\circ/\text{segundo}$) y altas velocidades para movimientos sacádicos ($> 300^\circ/\text{seg}$).</p> <p>Los movimientos oculares muestran esencialmente dos distribuciones de velocidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Velocidades bajas para las fijaciones ($< 100^\circ/\text{segundo}$). — Velocidades altas para los movimientos sacádicos ($> 300^\circ/\text{s}$). <p>Los perfiles de velocidad tienen un fuerte referente fisiológico, lo que hace que los criterios estáticos sean generalmente suficientes.</p>

Nota: adaptado de Salvucci, D. D. y Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye Tracking Protocols. En A. Duchowski (ed.), *Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium, ETRA 2000*. Palm Beach Gardens: ACM, p. 74.

El modelo oculto de Markov para la identificación de la fijación es un modelo estadístico utilizado en principio para el análisis de patrones temporales como el reconocimiento del habla y supone que la ocurrencia de un evento depende del evento inmediatamente anterior (Tabla 6). Este modelo incluye dos conjuntos de probabilidades: observación y transición (Salvucci y Goldberg, 2000). El objetivo es identificar los parámetros ocultos en una cadena de parámetros observables, así como la probabilidad de pasar de un estado oculto a otro. Las ubicaciones de los estados ocultos se estiman a partir de las ubicaciones de fijación. Asimismo, cuando la fijación de un participante se encuentra un estado oculto, las probabilidades de

transición indican en qué estado oculto estará la próxima fijación (Chuk, Chan y Hsiao, 2014).

Tabla 6. Algoritmos basados en la velocidad. Modelo oculto de Markov para la identificación de la fijación

Algoritmo
Modelo oculto de Markov para la identificación de la fijación (Hidden Markov model fixation identification) (I-HMM)
Este modelo hace un análisis probabilístico para determinar la posibilidad de identificaciones para un protocolo dado.
Son modelos estadísticos usados con frecuencia en el reconocimiento de escritura a mano. Su objetivo es modelar parámetros desconocidos a partir de parámetros observables.
Utilizan dos estados, que representan las distribuciones para la velocidad de las sácadas y las fijaciones.
Incluye dos conjuntos de probabilidades: observación y probabilidades de transición.
El primer estado representa las sácadas y contiene una distribución centrada alrededor de velocidades más altas.
El segundo estado representa puntos de fijación y, por lo tanto, contiene una distribución centrada alrededor de velocidades bajas.

Nota: adaptado de Salvucci, D. D. y Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye Tracking Protocols. En A. Duchowski (ed.), *Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium, ETRA 2000*. Palm Beach Gardens: ACM, p. 75.

Por su parte, los algoritmos basados en la dispersión emplean la posición del cursor para ubicar la fijación. Suponen que cuando la dispersión es baja se presenta una fijación. Salvucci y Goldberg (2000) proponen el uso de dos tipos de algoritmos en estos casos: la identificación del umbral de dispersión (Tabla 7) y el árbol de expansión mínima (Tabla 8).

Tabla 7. Algoritmos basados en la dispersión. Identificación del umbral de dispersión

Algoritmo
Identificación del umbral de dispersión (dispersion-threshold identification) I-DT
Se basa en que los puntos de fijación; debido a su baja velocidad, se agrupan en estrecha colaboración.
Identifica las fijaciones como grupos de puntos consecutivos dentro de una dispersión particular y, dado que las fijaciones tienen una duración de al menos 100 ms, la I-DT las reconoce por dispersión.
Esta técnica a menudo incorpora un umbral mínimo de duración de 100-200 ms, con el objetivo de aliviar la variabilidad del equipo.

Nota: adaptado de Salvucci, D. D. y Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye Tracking Protocols. En A. Duchowski (ed.), *Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium, ETRA 2000*. Palm Beach Gardens: ACM, p. 75.

Tabla 8. Algoritmos basados en la dispersión. Árbol de expansión mínima

Algoritmo
<p>Árbol de expansión mínima (MST, minimum spanning trees)</p> <p>La identificación del MST (I-MST) asume que los puntos de una representación de movimientos oculares pueden graficarse en forma de árbol, en la que se conecta un conjunto de puntos de manera que la longitud total de los segmentos de línea del árbol se minimiza.</p> <p>Su ventaja reside en el grado de control, flexibilidad y adaptación local para el análisis de dispersión. Precisa de dos etapas: la construcción del MST, seguida por una búsqueda del MST. La construcción utiliza el algoritmo de Prim.</p> <p>Parte de la idea de que hay solo un MST para un conjunto de puntos.</p> <p>La identificación de la fijación requiere recorrer el MST ya definido. Se hace una búsqueda para determinar la profundidad máxima de interconexión en cada punto.</p> <p>Las profundidades de ramificación por debajo de una señal determinada se ubican cerca del borde del MST que no son candidatos apropiados para separar fijaciones.</p> <p>Si los bordes conectados a cada extremo exceden la profundidad de ramificación mínima definida, la red de bordes conectados a cada punto final se recoge en una distribución de longitud de borde asociada.</p> <p>La media m y la desviación estándar s de las longitudes de los bordes proporcionan una comparación localmente adaptativa para la separación de las fijaciones.</p> <p>La separación puede ocurrir con base en la comparación del borde bajo consideración de m y s de longitudes de borde vecinas. De esta manera, se logra un marco para controlar dónde pueden ocurrir las fijaciones en un MST y para determinar cómo afecta la adaptabilidad local a las decisiones de fijación (Salvucci y Goldberg, 2000).</p>

Nota: adaptado de Salvucci, D. D. y Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye Tracking Protocols. En A. Duchowski (ed.), *Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium, ETRA 2000*. Palm Beach Gardens: ACM, p. 75.

Los algoritmos basados en el área se focalizan en la interacción que se produce con un área de interés, de modo que cuando se detecta una fijación en una de ellas, el análisis se enfoca en el centro de la misma (Tabla 9).

Tabla 9. Algoritmos basados en el área

Algoritmo
<p>Identificación del área de interés (I-AOI)</p> <p>Solo identifica las fijaciones que ocurren dentro de las áreas objetivo que se han especificado.</p> <p>Estas son regiones de interés que representan unidades de información en el campo visual.</p> <p>Estas áreas objetivo, generalmente usadas en análisis posteriores como el rastreo, mantienen las fijaciones identificadas cerca de los objetivos relevantes.</p> <p>Este modelo también utiliza un umbral de duración para ayudar a distinguir las fijaciones en áreas objetivo.</p> <p>Aunque los algoritmos de tiempo de permanencia basados en AOI no son algoritmos de fijación <i>per se</i>, son valiosos como un concepto para ayudar a explicar colecciones de nivel superior de fijaciones organizadas sobre objetivos visuales y áreas.</p>

Nota: adaptado de Salvucci, D. D. y Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye Tracking Protocols. En A. Duchowski (ed.), *Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium, ETRA 2000*. Palm Beach Gardens: ACM, p. 76.

Los datos que deben ser analizados incluyen:

1. La secuencia que siguen los ojos entre cada fijación y cada movimiento sacádico (Figura 13) (Blascheck et al., 2017; Kang, Mandal y Dyer, 2017; Burch et al., 2015).
2. El tiempo que dura la fijación, es decir, el estado en el que el ojo permanece apuntando a un mismo estímulo durante un tiempo. Cuanto mayor sea el tiempo de duración, mayor será la dificultad para interpretar el contenido del AOL (Figura 13) (Blascheck et al., 2017; Kang et al., 2017; Burch et al., 2015).
3. La revisión exhaustiva que se refiere a la acción de mirar repetidamente áreas de una escena o de un objeto que parecen provechosas para obtener información, pero no lo son. Un mayor número de fijaciones puede ser una señal de una menor eficiencia en la búsqueda (Blascheck et al., 2017; Kang et al., 2017; Burch et al., 2015).
4. La indiferencia selectiva, referida a la acción de ignorar deliberadamente áreas de una escena en determinados momentos (Blascheck et al., 2017; Kang et al., 2017; Burch et al., 2015).
5. El área de interés (AOI), término utilizado para las regiones o áreas de una escena, una imagen o un objeto que son incluidas o excluidas durante un ejercicio de observación (Blascheck et al., 2017; Kang et al., 2017; Burch et al., 2015).

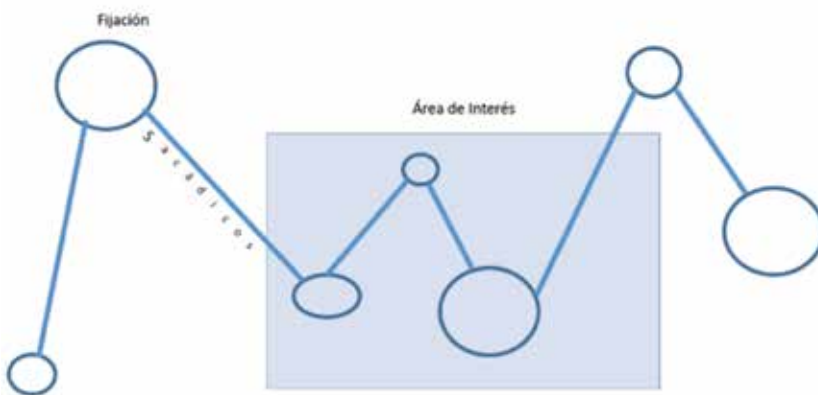


Figura 13. Tipos de movimientos y micromovimientos asociados con la fijación visual. Fuente: elaboración propia

6. El tiempo de detención, que se refiere al contacto visual sobre un área de interés. Se calcula sumando todas las fijaciones y sácadas dentro de un área de interés. Un mayor número de fijaciones en un AOI podría indicar que tiene mayor relevancia para el participante (Blascheck et al., 2017; Kang et al., 2017; Burch et al., 2015).
7. La red de tiempo de detención, que es el tiempo que transcurre entre la entrada de la mirada al área de interés y su salida de ella. Se mide sumando la duración de todas las fijaciones dentro del área de interés. Cuando la duración sobre un AOI es mayor, puede interpretarse como mayor dificultad para interpretar la información contenida en ella (Blascheck et al., 2017; Kang et al., 2017; Burch et al., 2015).
8. La duración de la mirada, que corresponde al lapso de la sácada cuando entra al objeto más la suma de la duración de todas las fijaciones y la duración de las sácadas después de que el ojo ha abandonado el área de interés. La medición se obtiene de la suma del tiempo de detención y la duración de la sácada entrando al área de interés (Blascheck et al., 2017; Kang et al., 2017; Burch et al., 2015).
9. La visita, que corresponde al número de veces que se “echa un vistazo” a un objetivo (sácadas que vienen de afuera) en un período. Cuando existe una mayor dispersión en la densidad espacial puede suponerse una menor eficacia en la búsqueda de información relevante (Figuras 14 y 17) (Blascheck et al., 2017; Kang et al., 2017; Burch et al., 2015).

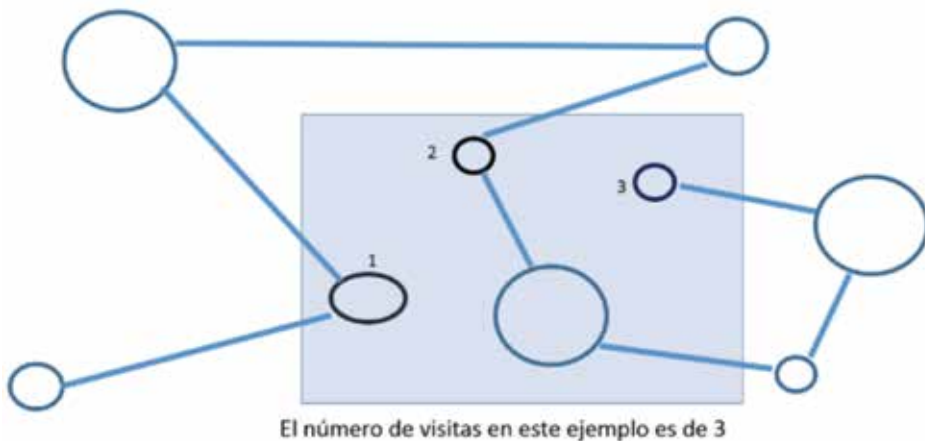


Figura 14. Ejemplo de vista en un área de interés 1. Fuente: elaboración propia

10. La proporción de miradas, que se refiere al número de veces que diferentes sujetos participantes en un estudio miran al menos una vez dentro del área de interés (Figura 15) (Blascheck et al., 2017; Kang et al., 2017; Burch et al., 2015).

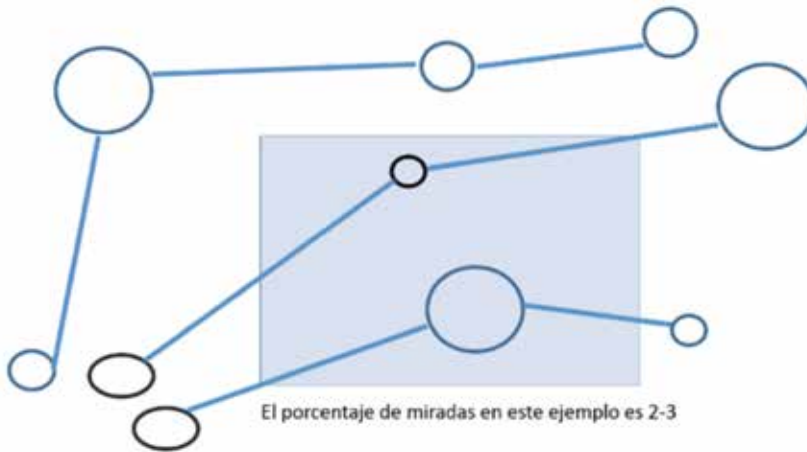


Figura 15. Ejemplo de vista en un área de interés 2. Fuente: elaboración propia

11. Número de revisiones que se hacen a un área de interés (Blascheck et al., 2017; Kang et al., 2017; Burch et al., 2015). En la Figura 16 se muestra un ejemplo.

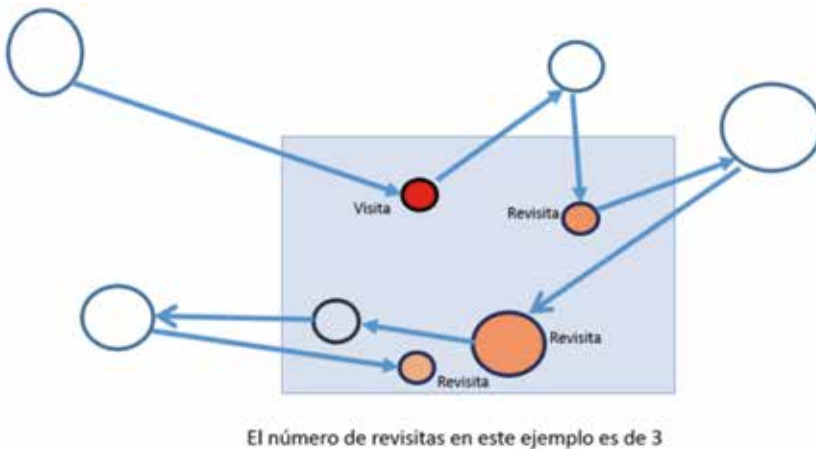


Figura 16. Ejemplo de vista en un área de interés 3. Fuente: elaboración propia

Se sugiere que para interpretar estos datos se recurra a las leyes de la Gestalt, como la de proximidad, de similitud, de cierre, de la totalidad, de la dialéctica, del contraste, de la compleción, del principio de memoria o del principio de jerarquización, así

como incluir técnicas como el pensamiento en voz alta (Armengol, 2007), para facilitar y hacer más exacta la interpretación.

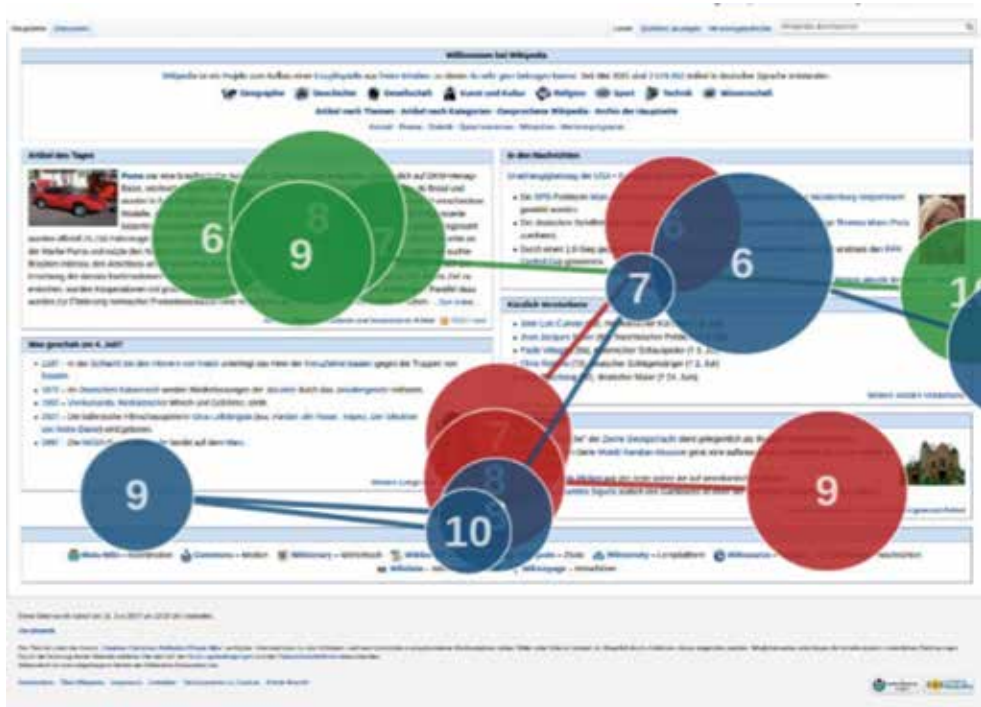


Figura 17. Trazos de movimientos oculares registrados durante el eye tracking. Fuente: Tschneider. (2017). *Gaze Plot Eye Tracking on Wikipedia with 3 Participants*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gaze_plot_eye_tracking_on_Wikipedia_with_3_participants.png

7

CONDICIONES PARA EL REPORTE DE INVESTIGACIÓN

Una vez se ha completado el análisis de los datos, el próximo paso es elaborar un informe. En esta sección se presentan las condiciones mínimas que debe cumplir:

1. Describir el tipo y las características del espacio, incluidas las condiciones de luz. De preferencia, debe adjuntar una foto.
2. Indicar la posición y ubicación de los elementos del entorno, su forma, tamaño y color. De preferencia, debe adjuntar una foto. Es importante indicar si se utilizó un espacio natural, una imagen en un computador o una figura de revista y aclarar si los estímulos eran de conocimiento general o si eran novedosos para los participantes.
3. Explicitar el sistema de eye tracking que se utilizó, el modelo y el *software*.
4. Presentar el protocolo desarrollado para el experimento, incluidas las instrucciones para los participantes.
5. Exponer el proceso de calibración, las dificultades que se presentaron y sus causas.
6. Indicar los tiempos de la calibración y del experimento por cada participante, así como la distancia en la que se encontraba el observador respecto al estímulo.
7. Explicar la forma en la que fueron analizados los datos, los algoritmos que se seleccionaron, los datos que se perdieron y cómo se definieron las AOI. Es importante mostrar tanto los datos obtenidos como las verbalizaciones de los participantes mientras colaboraban con el experimento y las observaciones de quienes condujeron el estudio respecto a los participantes.
8. Incluir fotos de los resultados de las observaciones hechas por los participantes y tablas con los análisis estadísticos.

8

APLICACIONES DEL EYE TRACKING

En este apartado se presentarán los principales campos en los que se han aplicado los diferentes tipos de eye tracking. Se expondrán algunas investigaciones que se han desarrollado en cada campo, con el fin de fundamentar la importancia del estudio del comportamiento visual para la comprensión de procesos cognoscitivos y emocionales, así como para aportar aproximaciones históricas, conceptuales y teóricas.

Dado que existe una amplia variedad de tecnologías de rastreo ocular, con el propósito de que el lector profundice en las investigaciones en las que se ha utilizado el eye tracker Mobile eye XG. en los últimos años, se presenta en el Anexo 2 una lista con las referencias de algunas publicaciones recientes.

El eye tracking ha sido utilizado en múltiples campos de estudio, aunque el más conocido es el del neuromercadeo (Dos Santos, De Oliveira, Rocha y Giraldi, 2015). No obstante, sorprende la variedad de usos que tiene esta herramienta, los cuales incluyen investigaciones sobre procesos de lectoescritura (Wade, 2010), trastornos del espectro autista (Boraston y Blakemore, 2007), emociones (De Lemos, Sadeghnia, Ólafsdóttir y Jensen, 2008) y comportamiento social (Gobel, Kim, y Richardson 2015), entre otros.

Chamorro (2012), señala que:

La utilización del rastreo del movimiento ocular como paradigma de estudio, ha cobrado fuerza en los últimos años, puesto que es un método no invasivo que permite evaluar diversos aspectos del procesamiento de la información visual y hacer inferencias sobre las características del funcionamiento cerebral (p. 7).

La misma autora sostiene que los estudios de los movimientos sacádicos han sido empleados como marcadores biológicos de enfermedades neurológicas y psiquiátricas (Chamorro, 2012).

Como antecedentes históricos, en 1935, Buswell publicó un libro titulado *How People Look at Pictures: A Study of The Psychology of Perception in Art*. Buswell fue el primero en grabar y analizar los movimientos oculares de personas que observaban escenas complejas (Babcock, Lipps y Pelz, 2002).

Más adelante, en 1967, Alfred Yarbus utilizó un dispositivo de seguimiento ocular (Figura 18) y le pidió a un grupo de personas que observara una escena de una familia (Figura 19) durante tres minutos, mientras le formulaba diversas preguntas encaminadas a describir las claves en la escena que permitían al participante dar las respuestas (Catani y Sandrone, 2015; Liversedee, Gilchrist y Everling, 2011).

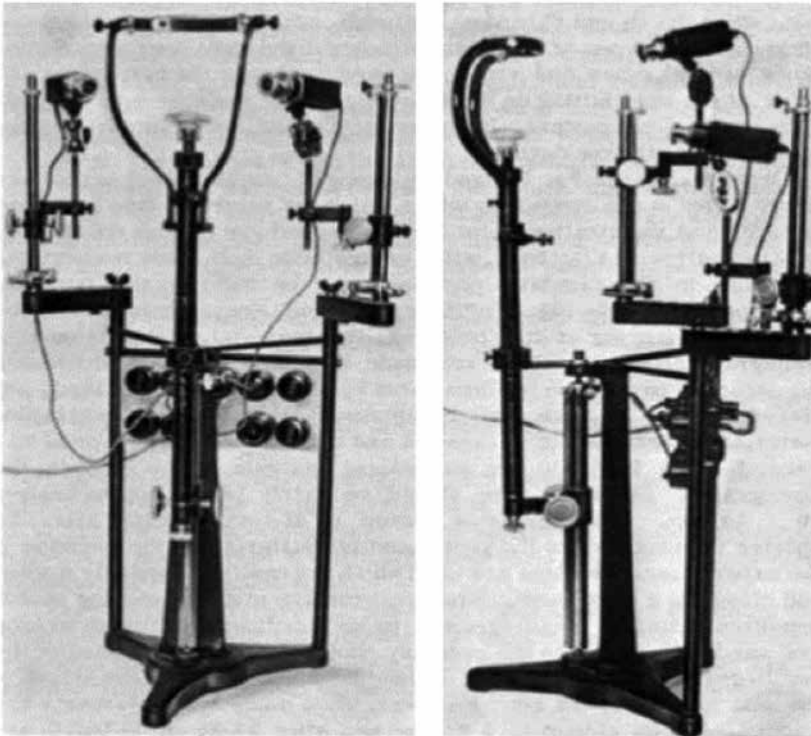


Figura 18. Experimento de Yarbus. Fuente: Yarbus, A. L. (1967). *Movimientos oculares y visión*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yarbus_eye_tracker.jpg

Al participante se le impedía pestañear, pegando el párpado con cinta. Luego se le pedía que explorara la escena y, mientras esto ocurría, una luz reflejada por el ojo era grabada sobre un tipo de papel fotográfico (Catani y Sandrone, 2015). Yarbus concluyó que la motivación y el objetivo que se establecía antes de que los participantes hicieran el proceso de observación determinaban la estrategia (Figura 19).

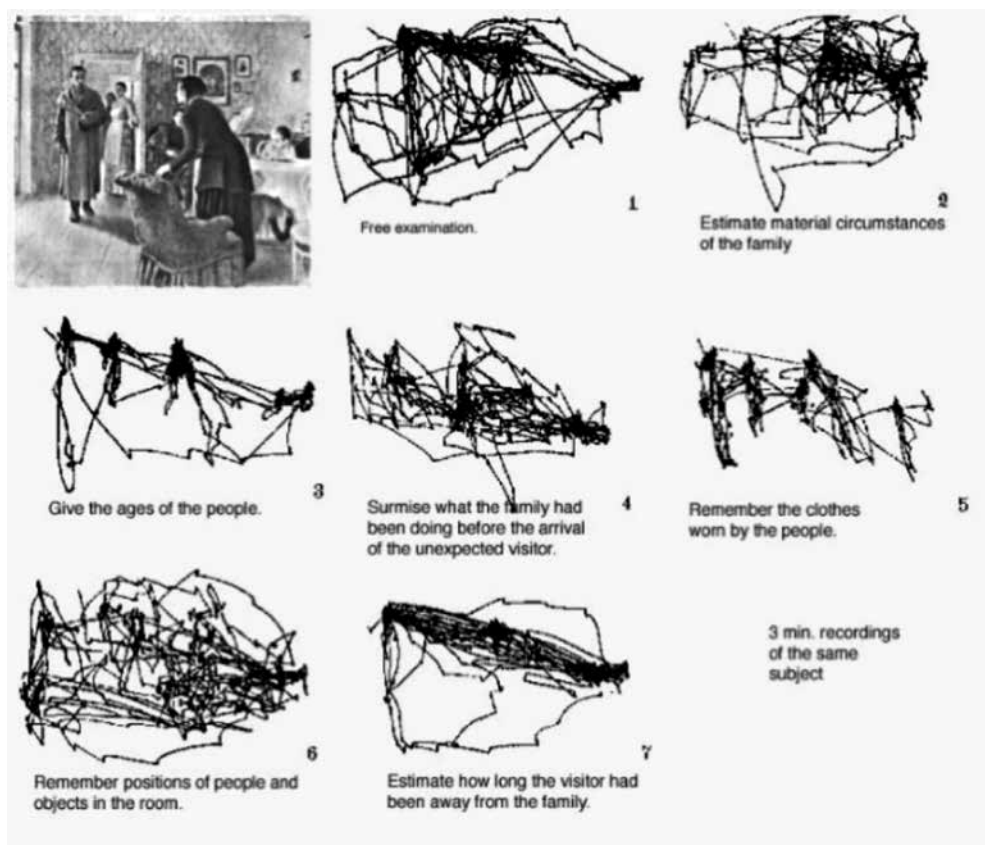


Figura 19. Dispositivo utilizado por Yarbuss para registrar los movimientos oculares. Fuente: Creative Commons (2007). *This Data from Yarbuss (1967) is often Referred to when Arguing that the Task Given to a Person has a Strong Influence on his or her Eye Movements.* Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yarbuss_The_Visitor.jpg

Asimismo, Yarbuss (1967) advirtió que, cuando se les permitía el rastreo libre de una escena con objetos y personas, los participantes fijaban su atención en primer lugar sobre las personas, en especial en los ojos y la boca. Catani y Sandrone (2015) explican que los seres humanos se interesan en aquellos objetos clave de una escena a partir de los cuales pueden construir una narrativa y entender el significado de lo que ocurre a su alrededor y por eso suelen centrarse en los rostros de otras personas y luego extraen información de la postura corporal y de su posición en el espacio, lo que en conjunto ofrece datos sobre los aspectos emocionales y el estado mental, con el fin de hacer predicciones (Figura 20).

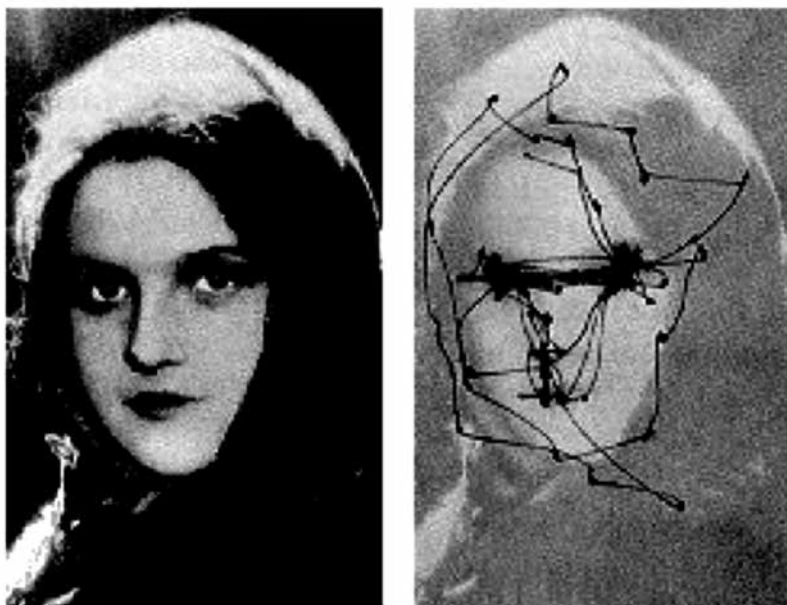


Figura 20. Imagen del experimento utilizado por Yarbus en 1967. Fuente: Wikimedia commons. (2014). *Saccades and Microsaccades*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saccades_and_Microsaccades.jpg

Los hallazgos de estas investigaciones y de otras similares significaron tres grandes desafíos frente a los estudios de los movimientos oculares: a) el desarrollo de tecnologías no invasivas para grabar y observar los movimientos oculares; b) el diseño de *software* para grabar, procesar y analizar la cantidad de información que se obtenía a partir de estos estudios, y c) la aplicación de los aportes de la psicología cognitiva en el estudio de los movimientos oculares.

Más adelante, Henderson y Hollingworth (1999) propusieron tres áreas de investigación para la visión humana: a) la visión de bajo nivel o temprana, que hace referencia a la extracción de propiedades físicas como profundidad, color y textura de una imagen, así como la generación de representaciones de superficies y bordes; b) la visión de nivel intermedio, que alude a la extracción de formas y relaciones espaciales que se determinan sin tener en cuenta el significado, pero típicamente requieren un proceso selectivo o en serie, y c) la visión de alto nivel, que se refiere a la asignación de un significado a las representaciones visuales, incluidos el estudio de procesos y representaciones relacionados con la interacción entre cognición y percepción visual, la adquisición activa de información, la memoria visual a corto plazo y la identificación de objetos y escenas.

Para esta misma época, Henderson, Weeks y Hollingworth (1999) propusieron un modelo de control de movimiento ocular en la visualización de escenas. Este esquema resalta el papel del procesamiento semántico de estímulos localizados fuera de la fijación foveal y da cuenta del lugar y de la duración de la fijación. Los autores afirman que, en principio, los movimientos oculares y la colocación de la fijación están determinados por las características visuales de bajo nivel; luego, los ojos se centran en una región y la cantidad de tiempo que permanece fija la mirada en ese lugar se explica tanto por el análisis perceptivo como cognoscitivo. Más adelante se hace un análisis semántico que involucra la informatividad y la consistencia, entre otros elementos. El cambio de atención a una nueva región será controlado nuevamente por factores perceptivos. Si el procesamiento de una escena no se completa por factores como su complejidad, la atención cambiará a otra región o se harán nuevas refijaciones, de modo que el análisis de una escena alterna procesos perceptivos y cognoscitivos, controlados por factores visuales.

Algunos de estos antecedentes y otros que no han sido mencionados en este apartado motivaron el desarrollo de una línea de investigación sobre el procesamiento de información visual que ha sido aplicada en varios campos. A continuación se mencionarán algunos de ellos.

Aplicación del eye tracking en procesos de lectoescritura

Los estudios con el eye tracking dirigidos a investigar el procesamiento visual en textos escritos son, junto con los procesos atencionales, de los de mayor interés en esta línea.

En el campo de la lectoescritura, buena parte de investigaciones y publicaciones se hizo entre las décadas del setenta y del noventa, y estuvo centrada en los movimientos sacádicos y las fijaciones, al considerar que estos eventos revelaban con mayor precisión la ocurrencia de procesos cognoscitivos (Forster, 2017).

La lectura es quizás una de las tareas más complejas, porque involucra la coordinación y la ejecución de varios subprocesos como el acceso léxico, el acceso semántico, la codificación de las palabras, el reconocimiento de letras y el análisis sintáctico de las palabras, entre otros, que hacen posible que las personas operen de manera intencional y reflexiva sobre el lenguaje escrito (Montealegre y Forero, 2006).

Las investigaciones con las técnicas de seguimiento ocular centradas en procesos de lectura y escritura se han estructurado en torno a tres tópicos, al menos: comprensión de palabras u oraciones individuales; lectura y comprensión de un texto completo; lectura y procesamiento de varios textos (Jarodzka y Brand-Gruwel, 2017).

Estos estudios han permitido comprender la forma como las personas reconocen las palabras y procesan unidades de lenguaje escrito. Los resultados coinciden en establecer que la identificación del significado de una palabra sucede gracias a que ella está presente en la fovea, pero aun si está presente en la parafovea, pese a que la agudeza visual es más reducida, también es posible otorgar significado a lo que se lee —aunque a un ritmo más lento— e identificar características de las palabras como su extensión y forma. Ello no ocurre si la palabra aparece en la periferia, donde es imposible algún reconocimiento (Carreiras y Gutiérrez-Calvo, 1991; Rayner, Inhoff, Morrison, Slowiaczek y Bertera, 1981).

Los estudios en este campo fueron iniciados por Louis Emile Javal entre 1839 y 1909, un oftalmólogo francés cuyo mayor reconocimiento se debió a sus trabajos sobre el estrabismo. Notó que, cuando las personas leían, no lo hacían en una línea constante, sino que se alternaban al menos dos tipos de movimientos: los sacádicos y los micro-sacádicos o de fijación (Wade, 2010).

Tversky (1974) encontró que un mayor número de fijaciones sobre palabras estaba asociado con mejor recuerdo verbal, lo que no ocurría, por ejemplo, cuando se trataba de recordar imágenes. Rayner, McConkie y Zola (1980) habían observado que era más fácil recordar palabras presentes en el campo de visión parafoveal que aquellas presentadas en el campo de visión foveal en una fijación subsecuente si ambas palabras comenzaban con la misma letra, aunque en general se extrajera mayor significado de la información que se presentaba en la fovea.

Just y Carpenter (1980) afirmaron que la información procesada tras la lectura era diferente a la que se procesaba tras estímulos auditivos. Estos autores señalaron que en la lectura ocurrían varias situaciones: en primer lugar, el lector tenía la capacidad para regular la cantidad de información de entrada; en segundo lugar, podía saltarse varias porciones de un texto y aun así comprender su significado y, en tercer lugar, podía fijar la atención en ciertas palabras o partes del escrito. De aquí que el estudio de los procesos de lectura permite entender, entre otras cosas, cómo son los procesos de comprensión lectora, lo que a la vez orienta acerca de los procesos de aprendizaje.

Just y Carpenter (1980) mostraron que cuando a un grupo de lectores se les daba a leer un texto bien fuera científico o literario, apropiado para su edad, sucedían varios eventos: en promedio veían de una a dos palabras por fijación; las palabras sobre las que generalmente no había fijación eran cortas (a, el, los, la, de); el número de palabras por fijación era menor si el texto era difícil o si el lector tenía un nivel educativo bajo. Por el contrario, si eran jóvenes o adultos y se les entregaba un cuento infantil no ocurría lo mismo: por ejemplo, el número de palabras por fijación incrementaba.

Además, las palabras que se encontraban en la periferia no tenían significado para el lector y el número de miradas variaba de una palabra a otra.

Aplicación del eye tracking para la evaluación y estimulación de procesos cognoscitivos

Las técnicas de eye tracking se usan para recopilar e interpretar datos acerca de cómo las personas procesan información y para estudiar procesos cognoscitivos como la atención y la memoria. Los resultados de las investigaciones interesadas en el abordaje de estos procesos mediante eye tracking son útiles para el diseño de estrategias de aprendizaje y para la elaboración de materiales multirrepresentacionales (por ejemplo, el uso de realidad virtual combinada con animación digital), de modo que este tipo de pedagogías se alinee con los recursos cognoscitivos de los estudiantes (Scheiter y Van Gog, 2009; Ainsworth, 2006).

A continuación se presentarán algunas de las investigaciones que han hecho uso de las tecnologías eye tracking para el estudio de procesos cognoscitivos.

a. Atención. La atención es el proceso por el cual se filtra y selecciona la información que proviene tanto del entorno como de la propia persona (Portellano y García, 2014).

Desde los inicios de los estudios que utilizaban alguna herramienta para seguir y analizar los movimientos oculares, una de las áreas de interés de mayor desarrollo ha sido la atención visual. Ya se había mencionado que los estudios de Yarus y de Buswell demostraron que en una escena se prestaba atención a aquello que guardaba relación con la motivación y la meta que se tenía durante el proceso de observación. Por ejemplo, alguien que espera ganar en un casino en un juego de dados estaría más atento a los movimientos de los dados que al juego de cartas de una mesa contigua. La motivación y el objetivo que se pretende alcanzar tienen un impacto sobre la inhibición de la atención sobre estímulos que compiten (Miyake y Friedman, 2012).

Loftus y Mackworth (1978) y Stirk y Underwood (2007) han encontrado que los objetos inconsistentes (violaciones semánticas) se hallan más rápido y con mayor precisión que las coherencias, lo que puede ser resultado del procesamiento de información parafoveal o periférica.

Estudios enfocados en el control de la atención visual en condiciones naturales, bien sea para inspeccionar una escena o para hacer seguimiento a una tarea, han demostrado que la percepción de objetos y la atención que se les preste dependen de factores como sus características físicas (color, tamaño y forma), así como de su significado y las relaciones semánticas que existen entre ellas.

De esto se han desprendido diversas líneas de investigación, entre las cuales se analiza la probabilidad de que un observador identifique algo en una escena que no es coherente con lo que se esperaría encontrar en ella (violación semántica), como podría ser un perro volando. Asimismo, se examina la identificación de objetos semánticamente consistentes con la escena, pero ubicados en lugares inesperados o en una posición inusual (violaciones sintácticas) (Shinoda, Hayhoe y Shrivastava, 2001; Hwang et al., 2011).

Por su parte, Trevarthen (1968) propuso dos modalidades de atención visual durante el procesamiento de información de una escena: ambiental y focal. La primera, vinculada con la observación de objetos en una escena, se caracteriza por fijaciones cortas y una mayor amplitud en los movimientos sacádicos. A la segunda, asociada con una observación más detallada de los objetos durante la fase de inspección posterior a la observación general, corresponden fijaciones de mayor duración y movimientos sacádicos de menor amplitud.

Helo, Rämä, Pannasch y Meary (2016) sugieren que ambos tipos de atención visual son esenciales para la supervivencia. Estos autores investigaron los rasgos de los movimientos oculares durante la visualización de escenas mediante la tecnología eye tracking en bebés entre los 3 y 12 meses de edad. Además, determinaron dónde y cuándo los bebés exhibían modalidades ambientales y focales. Frente al primer objetivo, los resultados arrojaron que la duración de las fijaciones disminuía con el crecimiento, mientras la amplitud de los movimientos sacádicos era similar en niños y en adultos. Concluyeron que el procesamiento de información visual se hace más fácil hacia el primer año de vida y se mantiene estable hasta la vida adulta. Para el segundo objetivo hallaron que la transición entre modalidades ambientales y focales durante el tiempo de visualización de una escena aparece hacia el primer año de vida. Sus resultados coincidieron con los hallazgos de Trevarthen (1968) en cuanto a que la amplitud de los movimientos sacádicos era mayor durante el tiempo de visualización en comparación con el final de ese tiempo.

Hwang y otros autores (2011) estudiaron el movimiento de los ojos en escenas del mundo real bajo la guía semántica, es decir, utilizaron escenas que guardaban cierta similitud semántica para observar cómo se desplazaban los ojos en escenarios con características afines. Suponían que los objetos del mundo visual no solo se percibían a partir de las características visuales de baja complejidad como la forma y el color, sino también por las de alta complejidad como el significado y las relaciones semánticas entre ellos. Seleccionaron escenas de la base de datos de objetos LabelMe y aplicaron un análisis semántico latente (LSA), a partir del cual etiquetaron objetos de la escena y generaron mapas de prominencia semántica. Los resultados revelaron

una preferencia por las transiciones a objetos que eran semánticamente similares. Por otro lado, hallaron que los movimientos oculares de los sujetos fueron guiados progresivamente hacia objetos semánticamente similares al objetivo de búsqueda.

Grüner y Ansorge (2017) revisaron las publicaciones resultantes de investigación sobre movimientos oculares con las tecnologías de rastreo ocular durante la conducción nocturna en condiciones no experimentales, con el fin de determinar la influencia de los movimientos oculares en el rendimiento general de la conducción. Esto debido a que en el acto de conducir un vehículo debe procesarse una gran cantidad de estímulos como las señales de tránsito, la presencia de otros vehículos, los cambios ambientales y de condiciones de luz, los carteles publicitarios y la aparición inesperada de personas o animales que buscan atravesar una vía, entre otras. La motivación para adelantar esta investigación fue el alto número de muertes por accidentes de tráfico en carretera durante la noche, cifra que superaba las ocurridas en el día. Los resultados mostraron que las condiciones que facilitaban o dificultaban la conducción segura y exitosa estaban asociadas, en parte, con los procesos subyacentes al comportamiento de conducción que incluyen, entre otros, la memoria, el control atencional sobre acciones, los cambios atencionales y la toma de decisiones. En el desarrollo de estas actividades, todos los tipos de atención deben ponerse en marcha, aunque el cerebro automatiza algunos pasos con el fin de ejecutar varias operaciones a la vez: en primer lugar se requiere atención sostenida, pues conducir es una tarea rutinaria que exige que la persona que está al volante permanezca alerta y se esfuerce constantemente por evitar que la fatiga o la somnolencia, en especial en trayectos largos, tengan un impacto sobre la atención. Debido a la limitada capacidad humana para atender diversos estímulos, la atención selectiva desempeña un papel crucial en esta labor, ya que es la encargada de elegir la información a la que se debe prestar atención y optar por la respuesta más conveniente frente al estímulo que se presente (por ejemplo, frenar cuando el semáforo cambia de color). Tan importante como la atención selectiva es la atención dividida, que implica que el conductor preste atención a varios estímulos a la vez.

b. Memoria. La memoria es un complejo proceso por el cual se codifica, almacena y recupera la información ecoica (sonidos) e icónica (imágenes) que proviene de diversos medios (Atkinson y Shiffrin, 1968). Mediante el uso de las tecnologías de eye tracking se ha abordado el estudio de la memoria icónica.

Bahrck y Boucher (1968) hicieron un estudio con ochenta estudiantes a los que se les pidió que observaran dibujos con objetos comunes. Luego se les dio una prueba verbal de memoria para los nombres de dichos objetos, seguida de una prueba de reconocimiento visual para reflejar la exactitud de la retención visual. Se midió el

efecto del grado de entrenamiento, el intervalo de retención y las instrucciones para verbalizar durante el entrenamiento. Los autores encontraron que la probabilidad de recuperación de nombres de objetos no se correlacionaba con el reconocimiento visual. Dos semanas después se midió el recuerdo verbal y se encontraron pérdidas de almacenamiento visual de ambos aspectos.

Loftus (1972) hizo tres experimentos para observar el grado en el que la memoria de reconocimiento de las imágenes podía predecirse por los patrones de movimiento ocular en la imagen en el momento del estudio. En cada experimento se presentaban a los participantes 180 imágenes a color sobre la naturaleza en un formato de 35 mm, seguidas de una prueba de reconocimiento de sí-no para todas las imágenes y se registraron los movimientos oculares. El primer experimento buscaba estudiar la estructura de la recompensa. Se encontró que las imágenes de mayor valor recibieron un mayor número de fijaciones y fueron recordadas mejor que las imágenes de bajo valor; no obstante, cuando el número de fijaciones era constante, el rendimiento de la memoria era independiente del valor. En el segundo experimento se evidenció que cuando las imágenes se visualizaban por un tiempo fijo, el rendimiento de memoria era una función positiva del número de fijaciones en la imagen; del mismo modo se halló que cuando el número de fijaciones se mantenía constante, el rendimiento era independiente del tiempo de exposición y que no había recuerdo para las imágenes que fueron vistas originalmente de forma periférica. En el tercer experimento se pretendía conocer el papel que desempeñaba una tarea de distracción sobre la codificación. Se pidió a los participantes que vieran una imagen en una de cuatro condiciones: observación normal por 2 segundos (condición 2N); observación normal por 3 segundos (condición 3N); observación de una imagen mientras se ejecutaba una tarea de distracción durante 3 segundos (condición 3C) y observación de una imagen mientras se ejecutaba una tarea de distracción durante 5 segundos (condición 5C). Se observó que la tarea de distracción reducía el número de fijaciones y que el rendimiento era mejor para las imágenes vistas normalmente que para las observadas mientras se realizaba una tarea de distracción, lo que sugiere que este tipo de tarea dificulta la codificación.

Pezdek y otros autores (1988) desarrollaron un estudio en el que a un grupo de personas se le presentaba imágenes simples y complejas y luego una prueba de reconocimiento con una forma simple o compleja; el recuerdo era mejor para las imágenes simples que complejas.

Christianson y otros autores (1991) encontraron que cuando las personas observaban una secuencia de imágenes con contenido emocional, neutro o inusual, la memoria sobre un detalle central era mejor para la de contenido emocional. Asimismo,

hallaron que cuando los participantes habían dedicado el mismo número de fijaciones, la memoria para los detalles centrales de la diapositiva emocional era mejor. Por lo tanto, concluyeron que la mejoría en la información detallada del almacenamiento de un evento emocional no ocurría únicamente porque se dedicara más atención a la información emocional.

Hills, Marquardt, Young y Goodenough (2017) investigaron si las personas en estado afectivo de tristeza tenían una ventaja sobre las personas con estado afectivo de felicidad para el recuerdo de caras. A partir de los estudios de Hills y otros autores (2011), quienes ya habían probado esta hipótesis, expusieron a un grupo de personas con los dos estados afectivos a cuatro experimentos en los que se les pedía que observaran una serie de fotos con rostros de personas que luego debían reconocer. Mientras observaban las fotografías, con el eye tracker se evaluaban los movimientos oculares de los participantes. Los hallazgos mostraron que el estado afectivo tenía un efecto en los movimientos oculares: los participantes con estados afectivos deprimidos o ansiosos evitaban mirar los ojos de las personas que estaba en las fotografías y se fijaban en otras características, lo cual facilitaba una mejor codificación de los rostros y una mayor exactitud en su reconocimiento.

Vig y Johansson (2018) buscaron explorar el papel funcional de los movimientos oculares en la memoria visoespacial episódica en un entorno del mundo real. Se pidió a los participantes que observaran libremente alrededor de una sala durante las fases de codificación y recuperación de una tarea de memoria. Se grabó su comportamiento visual mediante la tecnología eye tracking. A los participantes se les presentaban dos condiciones: una congruente —en la que las señales de recuperación estaban en el mismo lugar que los objetos codificados— y una incongruente —en la que las claves de recuperación se reorganizaron—. Su hipótesis era que la congruencia entre las propiedades espaciales de los elementos codificados y las propiedades espaciales de las claves de recuperación contribuirían a que los participantes elaboraran una representación mental más precisa de la situación de codificación. Los resultados mostraron que hubo un aumento significativo en el rendimiento de la memoria para las características del objeto en la condición congruente, aunque en ambas condiciones se observaron movimientos oculares similares. Las diferencias sugerían que el comportamiento de la mirada difería en ciertos aspectos cuando se observaban escenas con elementos congruentes e incongruentes. Los autores concluyeron que la superposición en las posiciones espaciales resultaba en una similitud en el comportamiento de la mirada, lo que facilitaba el recuerdo.

c. Toma de decisiones. La toma de decisiones se entiende como un proceso interno en el que se presentan todas las acciones disponibles y luego se selecciona la acción más deseable, para producir un comportamiento que se manifiesta con respuestas motoras (Glimcher, 2003; Glimcher y Dorris, 2004).

Los estudios sobre el proceso de toma de decisiones son de los más complejos, como consecuencia de, al menos, tres situaciones: en primer lugar, la gran cantidad de subprocesos que involucra (atención, control atencional, lenguaje, aprendizaje, procesamiento serial frente a paralelo y memoria de trabajo); en segundo lugar, el hecho de que para cada situación, tarea y persona la ruta que sigue y la forma en la que se valora la información puede variar continuamente según las preferencias y los objetivos; en tercer lugar, los resultados de las investigaciones difieren cuando el estudio se realiza en condiciones de laboratorio o naturales (Gidlöf, Wallin, Dewhurst y Holmqvist, 2013; McSorley y Findlay, 2003), cuando se ejecuta una tarea novedosa o una frente a la cual ya se tiene experiencia (Reina, Moreno y Sanz, 2007) y cuando hay condiciones guiadas o de libre elección (Glimcher y Dorris, 2004).

Las anteriores circunstancias pueden provocar una única respuesta que conduce a una recompensa o pueden llevar a que se analicen las probabilidades y la magnitud de una recompensa asociada con diferentes tipos de acción, de forma que se elija la mejor solución (Glimcher, 2003; Glimcher y Dorris, 2004).

Debido a que buena parte de las tareas que desempeñan tanto los primates humanos como los no humanos frente a las cuales deben tomar una decisión dependen de la adquisición de información visual y a que en ocasiones los movimientos sacádicos están en función de la toma de decisiones (Ludwig, 2011), se ha venido desarrollando una línea de investigación con los equipos de eye tracking, cuyos objetivos son identificar los patrones de movimientos oculares, comprender cómo se adquiere e integra la información, identificar los comportamientos relevantes que se llevan a cabo y cuantificar los tiempos de reacción en la toma de decisiones (Foulsham y Kingstone, 2011; Gidlöf et al., 2013; Narbutasa, Lin, Kristanc y Heinke, 2017). Este tipo de decisiones son llamadas perceptivas y ocurren cuando un estímulo sensorial de entrada se convierte en una variable categorial discreta y determina el curso de acción (Sterzer, 2016; Summerfield y Blangero, 2016).

Las tareas sobre las que se han llevado a cabo la mayoría de investigaciones en esta línea se relacionan con la conducción de automóviles (Shinoda, Hayhoe y Hrivastava, 2001); la tarea cotidiana de preparar una taza de té (Land, Mennie y Rusted, 1999); la práctica de deportes como el tenis (García-González, Araújo, Carvalho y Del Villar, 2011; Hernández, F. J. M., Romero, Vaíllo y Del Campo, 2006), el taekwondo (Ruiz, Peñaloza, Rioja y Navia, 2013), el atletismo (Ghasemi, Momeni, Jafarzadehpur,

Rezaee y Taheri, 2011), el cricket (Henderson, 2017; Land y McLeod, 2000), el voleibol (Vila-Maldonado, Sáez-Gallego, Abellán y García-López, 2014) y la caminata (Jovanevic-Misic y Hayhoe, 2009; Wiener, Hölscher, Büchner y Konieczny, 2012).

Las preguntas que orientan las investigaciones incluyen, por ejemplo, ¿qué inhibe un movimiento sacádico?, ¿qué inicia un movimiento sacádico?, ¿qué determina un movimiento sacádico? y ¿qué orienta un movimiento sacádico?

Los estudios sobre toma de decisiones determinadas por los movimientos oculares sacádicos son de los más frecuentes para desarrollar modelos teóricos de toma de decisiones eficientes y para describir los procesos que el cerebro lleva a cabo cuando debe conectar la sensación, la percepción y la acción, en tanto los mecanismos sensoriales y perceptivos reúnen información proveniente del mundo exterior y los mecanismos de toma de decisiones seleccionan el comportamiento apropiado basado en esa información sensorial para ejecutar una acción (Glimcher, 2003; Ludwig, 2011).

d. Cognición social y emociones. La cognición social hace referencia a las capacidades de las personas para interactuar con otros en situaciones sociales. Abarca un conjunto de subdominios como la teoría de la mente, el procesamiento emocional, la empatía, el conocimiento social, la percepción social, los estilos atribucionales y los juicios morales, mediante los cuales se procesan, interpretan, almacenan y aplican claves verbales y no verbales (Gutiérrez de Piñeres, Avendaño, Mejía, Morales y García, 2017) para que los individuos formen parte de un grupo social (Firth, 2008).

El sistema visual humano desempeña un papel fundamental en la cognición social (Itier y Batty, 2009). Es una fuente necesaria para la adquisición y transmisión de información durante la interacción humana, ya que está capacitado para comunicar información no verbal y percibir las intenciones por medio de la mirada de los otros sin la necesidad de contacto físico, lo que se conoce como la doble función de la mirada social (Gobel et al., 2015; Pfeiffer, Vogeley y Schilbach, 2013).

Lo anterior es posible gracias a que en el ojo humano la esclerótica es proporcionalmente mayor al tamaño de la retina y está más expuesta que en otras especies (Kobayashi y Kohshima, 2001). Este rasgo posibilita observar el movimiento de los ojos y la dirección de la mirada (Emery, 2000) y usar esta información para dirigir la atención de otra persona hacia un objeto; para tener acceso a características físicas como el sexo, la raza, la edad, la identidad y a estados mentales; para anticipar el comportamiento mediante la detección de la dirección de la mirada y para sincronizar el habla durante el diálogo (George y Conty, 2008; Jessen y Grossmann, 2014; Grossmann, 2017; Tomasello, 2010). Quizá por estas razones Shepherd (2010) ha denominado a la mirada como una “ventana hacia la cognición social” (p. 5).

Uno de los aspectos más importantes de la cognición social que se ha estudiado con la tecnología de rastreo ocular es el contacto visual durante la interacción social (George y Conty, 2008). Se ha descrito la alternancia de dos tipos de contacto visual: el directo o mirada compartida y la déictica. Ambos pueden verse afectados por condiciones como los trastornos del espectro autista (Billeci et al., 2017), la sordera y la ceguera (Navab, Gillespie-Lynch, Johnson, Sigman y Hutman, 2012).

La mirada directa es una señal social que se produce gracias al contacto visual en los encuentros cara a cara y parece estar regulada por mecanismos automáticos mediados por sistemas subcorticales (Hamilton, 2016). La mirada directa tiene un efecto claro sobre los comportamientos sociales y no sociales (Yokoyama et al., 2014) y se prefiere sobre la mirada evitativa (Dubey, Ropar y Hamilton, 2015). Conduce tanto la excitación como la atención y las acciones de los otros y su interpretación depende del contexto (Hamilton, 2016).

Por otro lado, la mirada déictica, también denominada mirada compartida, consiste en la acción por la cual los movimientos oculares de una persona hacen que otros dirijan su mirada hacia el mismo punto. En otras palabras, se produce cuando dos o más personas dirigen la vista al mismo tiempo hacia el mismo punto. Esta mirada facilita el desarrollo de acciones de cooperación (Jarick y Kingstone, 2015; Tomasello, 2010) y parece ser vital para el desarrollo de habilidades sociales y de la teoría de la mente (Abreu, Cardoso-Martins y Barbosa, 2014; Shaw, Bryant, Malle, Povinelli y Pruett, 2017), en tanto habilidad para seguir y compartir la mirada, para identificar la intención, para facilitar la interacción social y obtener información sobre el entorno y es una base para establecer referencias y desarrollar diversos aspectos del lenguaje.

Con el uso del eye tracking también se ha profundizado en el estudio del reconocimiento emocional y de estados emocionales en las expresiones faciales (Shepherd, 2010). Los resultados de estas investigaciones han sido utilizados tanto para interpretar las acciones humanas como para introducir factores humanos en sistemas artificiales, como ocurre en el desarrollo de aplicaciones que incluyen símbolos que representan estados emocionales (Brom, Stárková, Lukavský, Javora y Bromová, 2016).

Calvo y Nummenmaa (2007), Calvo y Lang (2005) y Lang, Bradley y Cuthbert (1999) han investigado con rastreadores oculares cómo el procesamiento emocional representa una ventaja evolutiva. Los estímulos visuales emocionales procedentes de un evento, una persona, un objeto o un animal, relacionados con el bienestar, el placer, el peligro o el dolor, que brindan claves para la supervivencia y la adaptación, se procesan de forma automática y preatencional y facilitan conductas de aversión, alejamiento, aceptación o aproximación.

e. Aplicación del eye tracking en el diagnóstico de condiciones neurológicas y psiquiátricas. Algunas condiciones neurológicas y psiquiátricas son de difícil diagnóstico mediante entrevistas y test psicológicos, debido a las limitaciones del lenguaje de las personas evaluadas. Este obstáculo ha propiciado investigaciones que incluyen el uso de eye trackers para apoyar el diagnóstico de condiciones como los trastornos del espectro autista, el síndrome de Williams, la esquizofrenia y demencias como el alzhéimer, entre otras, dado que las exploraciones recientes sugieren que los parámetros de exploración visual aportan marcadores objetivos de apoyo a diagnósticos más precisos y que los sistemas neuronales responsables de los movimientos oculares pueden verse afectados por diversos procesos neurológicos (Gila et al., 2009).

f. Aplicación del eye tracking para el estudio de la interacción persona-máquina (usability). El estudio de los movimientos oculares se ha usado para investigar cómo interactúan las personas con las tecnologías, lo que ha recibido el nombre de usabilidad (usability). En el análisis de usabilidad, los movimientos oculares del usuario se registran durante el uso de tecnologías como celulares, computadores y televisores, entre otros; luego se analizan los datos retrospectivamente. La aplicación del seguimiento del ojo en la interacción persona-tecnología es muy útil en el diseño de *software* y páginas web, lo que puede conducir a una disminución en las barreras tecnológicas.

Un ejemplo de lo anterior es expuesto por Romano, Olmsted-Hawala y Jans (2013), quienes desarrollaron un estudio sobre la influencia de la edad en la exploración de páginas web. Mostraron que los participantes adultos mayores tenían menos precisión y se tomaban más tiempo en completar una tarea que se les pedía llevar a cabo mientras navegaban. Miraban la parte central de la pantalla con mayor frecuencia que los participantes jóvenes y veían la parte periférica izquierda con frecuencia. Los resultados sugieren tener en cuenta la edad y se discutieron en términos de su utilidad al diseñar sitios web, en especial cuando van dirigidos a toda clase de público.

Un estudio similar hicieron Inthiran y Macredie (2018). Consistía en pedirle a un grupo de adultos mayores que navegaran por páginas de salud. Para el análisis de datos se usaron mapas de calor y listas de verificación. Los resultados preliminares arrojaron un patrón de visión constante al ver una página percibida como favorable. Si la página era percibida como desfavorable, los adultos mayores tendían a ignorar gran parte de las secciones.

Koester, Brøsted, Jakobsen, Malmros y Andreasen (2017) adelantaron un trabajo en colaboración con un fabricante de equipos médicos. Su objetivo fue investigar si la tecnología eye tracking podía contribuir a la recopilación de datos para el desarrollo y uso de un nuevo producto. Los hallazgos dejan ver que combinar el eye tracking

Aplicaciones del eye tracking

con los procedimientos tradicionales facilitaba identificar mayor información sobre el uso del producto y la interacción del posible usuario con este. Como limitaciones señalaron que el uso del eye tracking requería tiempo adicional, recursos y habilidades técnicas como las condiciones de luz.

En el Anexo 2 de este libro se ofrece una tabla con investigaciones en las que se ha empleado el eye tracker Mobile eye XG en los últimos quince años.

Referencias

- Abad, L. (2007). *La mácula*. Barcelona: Glosa.
- Abreu, C. S. D., Cardoso-Martins, C. y Barbosa, P. G. (2014). The Relationship between Joint Attention and Theory of Mind: A Longitudinal Study. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 27(2), 409-414.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A Conceptual Framework for Considering Learning with Multiple Representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.
- Armengol, L. (2007). Los protocolos de pensamiento en voz alta como instrumento para analizar el proceso de escritura. *Revista española de lingüística aplicada*, 20, 27-36.
- Applied Science Laboratories [ASL]. (2014). *Eye Tracker Systems Manual Mobile Eye-5. Manual versión 1.6*. Recuperado de <https://est-kl.com/images/PDF/ASL/Mobile%20Eye%20Specifications.pdf>
- Atkinson, R. y Shiffrin, R. (1968). *La memoria humana: un sistema propuesto y sus procesos de control*. Nueva York: Academic Press.
- Babcock, J., Lipps, M. y Pelz, J. (2002). How People Look at Pictures Before, During, and After Scene Capture: Buswell Revisited. *Human Vision and Electronic Imaging*, 7, 34-47.
- Bahrick, H. P. y Boucher, B. (1968). Retention of Visual and Verbal Codes of the Same Stimuli. *Journal of Experimental Psychology*, 78(3), 417-422.
- Billeci, L., Narzisi, A., Tonacci, A., Sbriscia-Fioretti, B., Serasini, L., Fulceri, F., ... y Muratori, F. (2017). An Integrated EEG and Eye Tracking Approach for the Study of Responding and Initiating Joint Attention in Autism Spectrum Disorders. *Scientific Reports*, 7(1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13053-4>
- Blascheck, T., Kurzhals, K., Raschke, M., Burch, M., Weiskopf, D. y Ertl, T. (2017). Visualization of Eye Tracking Data: A Taxonomy and Survey. *Computer Graphics Forum*, 36(8), 260-284.
- Blausen.com staff. (2014). Medical Gallery of Blausen Medical 2014. *WikiJournal of Medicine*, 1(2), 10.
- Bonitz, V. S. y Gordon, R. D. (2008). Attention to Smoking-Related and Incongruous Objects during Scene Viewing. *Acta Psychologica*, 129(2), 255-263.
- Boraston, Z. y Blakemore, S. J. (2007). The Application of Eye Tracking Technology in the Study of Autism. *The Journal of Physiology*, 581(3), 893-898.
- Birmingham, E., Bischof, W. F. y Kingstone, A. (2009). Saliency does not Account for Fixations to Eyes within Social Scenes. *Vision research*, 49(24), 2992-3000.
- Brom, C., Stárková, T., Lukavský, J., Javora, O. y Bromová, E. (2016). Eye Tracking in Emotional Design Research: What are its Limitations? En *Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*. doi: 10.1145/2971485.2996749
- Burch, M., Blascheck, T., Kurzhals, K., Pflüger, H., Raschke, M., Weiskopf, D., y Pfeiffer, T. (2015). Eye Tracking Visualization. En *Eurographics (Tutorials)*. doi: <http://dx.doi.org/10.2312/egt.20151044>

Referencias

- Burton, A. M., Bindemann, M., Langton, S. R., Schweinberger, S. R. y Jenkins, R. (2009). Gaze Perception Requires Focused Attention: Evidence from an Interference Task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(1), 108-118.
- Cabestrero, R., Conde, P., Crespo, A., Grzib, P. y Quiróz, P. (2005). *Fundamentos psicológicos de la actividad cardiovascular y oculomotora*. Madrid: UNED.
- Calvo, M. G. y Lang, P. J. (2005). Parafoveal Semantic Processing of Emotional Visual Scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(3), 502-519.
- Calvo, M. G. y Nummenmaa, L. (2007). Processing of Unattended Emotional Visual Scenes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(3), 347-369.
- Calvo, M. G., Nummenmaa, L. y Hyönä, J. (2008). Emotional Scenes in Peripheral Vision: Selective Orienting and Gist Processing, but not Content Identification. *Emotion*, 8(1), 68-80.
- Carreiras, M. F. y Gutiérrez-Calvo, M. (1991). Medidas temporales de los procesos de comprensión lectora. *Curriculum* (1-2), 145-156.
- Catani, M. y Sandrone, S. (2015). *Brain Renaissance: From Vesalius to Modern Neuroscience*. Oxford: Oxford University Press.
- Chamorro, Y. (2012). *Influencia del nivel de lectura y de la escolarización en el control del movimiento ocular sacádico*. (Tesis de Maestría inédita). Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.
- Chen, T. (2018). When You Look Me in the Eyes: The Interplay between Eye Gaze and Affect. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Tampere, Filipinas. Recuperado de <http://tampub.uta.fi/bitstream/handle/10024/102834/978-952-03-0658-8.pdf?sequence=1>
- Chouinard, P. A. y Paus, T. (2010). What have We Learned from “Perturbing” the Human Cortical Motor System with Transcranial Magnetic Stimulation? *Frontiers in Human Neuroscience*. Recuperado de <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fn-hum.2010.00173/full>
- Chuk, T., Chan, A. B. y Hsiao, J. H. (2014). Understanding Eye Movements in Face Recognition Using Hidden Markov Models. *Journal of Vision*, 14(11). doi: 10.1167/14.11.8.
- Christianson, S., Loftus, E., Hoffman, H. y Loftus, G. (1991). Eye Fixations and Memory for Emotional Events. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17(4), 693-700.
- Cooke, L. (2005). “Eye Tracking”: How it Works and how it Relates to Usability. *Technical Communication*, 52(4), 456-463.
- Cooke, L. (2006). Is “Eye Tracking” the Next Step in Usability Testing? En *International Professional Communication Conference, 2006 IEEE* (pp. 236-242). Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/document/4114166/>
- Creative Commons. (2010). *A Professional Head-Mounted Display (HMD)*. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted_display#/media/File:XSight_HMD.jpg

- Creative Commons. (s. f.). *Tobbi Eye Tracking Demonstration Station*. Recuperado de <https://www.flickr.com/photos/doos/4582502376>
- Crevits, L. y Vandicrendonck, A. (2005). Gap Effect in Reflexive and Intentional Prosaccades. *Neuropsychobiology*, 51(1), 39-44.
- Conklin, K., Pellicer-Sánchez, A. y Carrol, G. (2018). *Eye Tracking*. Cambridge: Cambridge University Press.
- De Lemos, J., Sadeghnia, G., Ólafsdóttir, Í. y Jensen, O. (2008). Measuring Emotions Using “Eye Tracking”. En A. J. Spink, M. R. Ballintijn, N. D. Bogers, F. Grieco, L. W. S. Loijens, L. P. J. J. Noldus, G. Smit y P. H. Zimmerman (eds.), *Proceedings of Measuring Behavior 2008* (p. 226). Recuperado de https://www.noldus.com/mb2008/individual_papers/FPS_eye_tracking/FPS_eye_tracking_deLemos.pdf
- Ding, J., Powell, D. y Jiang, Y. (2009). Dissociable Frontal Controls during Visible and Memory-Guided Eye-Tracking of Moving Targets. *Human Brain Mapping*, 30(11), 3541-3552.
- Dolby, M. (2011). *Eye Tracking*. Recuperado de <https://www.flickr.com/photos/mark-dolby/5761911254/>
- Dos Santos, R. D. O. J., De Oliveira, J. H. C., Rocha, J. B. y Giraldi, J. D. M. E. (2015). Eye Tracking in Neuromarketing: A Research Agenda for Marketing Studies. *International Journal of Psychological Studies*, 7(1), 32-42.
- Duchowski, A. T. (2017). Neurological Substrate of the HVS. En *Eye Tracking Methodology. Theory and Practice* (pp. 15-27). Londres: Springer-Verlag.
- Dubey, I., Ropar, D. y De C. Hamilton, A. F. (2015). Measuring the Value of Social Engagement in Adults with and without Autism. *Molecular autism*, 6(1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13229-015-0031-2>
- Emery, N. J. (2000). The Eyes Have it: The Neuroethology, Function and Evolution of Social Gaze. *Neuroscience y Biobehavioral Reviews*, 24(6), 581-604.
- Ferrer, G. G. (2017). *Casos de investigación: una práctica empresarial*. Madrid: ESIC.
- Figuerolla, M. (2002). Introducción. En F. Micheli et al., *Tratado de neurología clínica*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Firth, C. (2008). Social Cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1499), 2033-2039. doi: <http://doi.org/10.1098/rstb.2008.0005>
- Forster, R. (2017). Aspectos da utilização do rastreamento ocular na pesquisa psicolinguística. *DELTA: Documentação e Estudos em Linguística Teórica e Aplicada*, 33(2), 609-644.
- Foulsham, T. y Kingstone, A. (2013). Optimal and Preferred Eye Landing Positions in Objects and Scenes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(9), 1707-1728.
- Galfano, G., Dalmaso, M., Marzoli, D., Pavan, G., Coricelli, C. y Castelli, L. (2012). Eye Gaze Cannot Be Ignored (but Neither Can Arrows). *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(10), 1895-1910.

Referencias

- García-González, L., Araújo, D., Carvalho, J. y Del Villar, F. (2011). Panorámica de las teorías y métodos de investigación en torno a la toma de decisiones en el tenis. *Revista de Psicología del deporte*, 20(2), 645-666.
- García, M. F., León, L. A. y Cárdenas, F. P. (2009). Redundancia de la información visual en el condicionamiento aversivo: papel del colículo superior. *Suma Psicológica*, 16(1), 9-17.
- Portellano, J. y García, A. (2014). *Neuropsicología de la atención, las funciones ejecutivas y la memoria*. Madrid: Síntesis.
- George, N. y Conty, L. (2008). Facing the Gaze of Others. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(3), 197-207.
- Ghasemi, A., Momeni, M., Jafarzadehpur, E., Rezaee, M. y Taheri, H. (2011). Visual Skills Involved in Decision Making by Expert Referees. *Perceptual and motor skills*, 112(1), 161-171.
- Gila, L., Villanueva, A. y Cabeza, R. (2009). Fisiopatología y técnicas de registro de los movimientos oculares. *Anales del sistema sanitario de Navarra*, 32(3), 9-26.
- Gidlöf, K., Wallin, A., Dewhurst, R. y Holmqvist, K. (2013). Using Eye Tracking to Trace a Cognitive Process: Gaze Behaviour during Decision Making in a Natural Environment. *Journal of Eye Movement Research*, 6(1). doi: <http://dx.doi.org/10.16910/jemr.6.1.3>
- Gitelman, D. R., Parrish, T. B., Friston, K. J., y Mesulam, M. M. (2002). Functional Anatomy of Visual Search: Regional Segregations within the Frontal Eye Fields and Effective Connectivity of the Superior Colliculus. *Neuroimage*, 15(4), 970-982.
- Glimcher, P. W. (2003). The Neurobiology of Visual-Saccadic Decision Making. *Annual review of neuroscience*, 26(1), 133-179.
- Glimcher, P. W. y Dorris, M. (2004). Neuronal Studies of Decision Making in the Visual-Saccadic System. *The cognitive neurosciences III*, 1215-1228. Recuperado de <http://www2.bpe.es.osaka-u.ac.jp/event/summerws2004/papers/Glimcher1.pdf>
- Gobel, M. S., Kim, H. S. y Richardson, D. C. (2015). The Dual Function of Social Gaze. *Cognition*, 136, 359-364.
- Grossmann, T. (2017). The Eyes as Windows into Other Minds: An Integrative Perspective. *Perspectives on Psychological Science*, 12(1), 107-121.
- Grüner, M. y Ansorge, U. (2017). Mobile “Eye Tracking” during Real-World Night Driving: A Selective Review of Findings and Recommendations for Future Research. *Journal of Eye Movement Research*, 10(2). doi: <http://dx.doi.org/10.16910/jemr.10.2.1>
- Gutiérrez de Piñeres, C., Avendaño, B., Mejía, S., Morles, L. y García, E. (2017). Evaluación neuropsicológica forense de la cognición social. Capítulo de manuscrito presentado para su publicación.
- Hamilton, A. F. de C. (2016). Gazing at Me: The Importance of Social Meaning in Understanding Direct-Gaze Cues. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1686). doi: <http://doi.org/10.1098/rstb.2015.0080>

- Hayhoe, M. (2000). Vision Using Routines: A Functional Account of Vision. *Visual Cognition*, 7(1-3), 43-64.
- Helo, A., Rämä, P., Pannasch, S. y Meary, D. (2016). Eye Movement Patterns and Visual Attention during Scene Viewing in 3-to 12-Month-Olds. *Visual Neuroscience*, 33.
- Henderson, J. M. (2017). Gaze Control as Prediction. *Trends in cognitive sciences*, 21(1), 15-23.
- Henderson, J. M., y Hollingworth, A. (1999). High-Level Scene Perception. *Annual review of psychology*, 50(1), 243-271.
- Henderson, J. M., Weeks Jr, P. A. y Hollingworth, A. (1999). The Effects of Semantic Consistency on Eye Movements during Complex Scene Viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(1), 210.
- Hernández, F. J. M., Romero, F. Á., Vaíllo, R. R. y Del Campo, V. L. (2006). Análisis del comportamiento visual de entrenadores de tenis en situaciones de pista y videoproyección. *Ricyde. Revista internacional de ciencias del deporte*, 2(5), 29-41.
- Hills, P. J., Marquardt, Z., Young, I. y Goodenough, I. (2017). Explaining Sad People's Memory Advantage for Faces. *Frontiers in psychology*, 8. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00207
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. y Van de Weijer, J. (2011). *"Eye Tracking": A Comprehensive Guide to Methods and Measures*. Oxford: Oxford University Press.
- Horsley, M., Eliot, M., Knight, B. A. y Reilly, R. (eds.). (2013). *Current Trends in "Eye Tracking" Research*. Cham: Springer International Publishing.
- Hung, G. K. y Ciuffreda, K. C. (eds.). (2013). *Models of the Visual System*. Boston: Springer Science.
- Hunziker, H. (2006). *Im Auge des Lesers: Foveale und Periphere Wahrnehmung - vom Buchstabieren zur Lesefreude*. Recuperado de https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Face_recognition_first_5_seconds.jpg
- Hunziker, H. (2008). *Eye Fixations Reading*. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EyeFixationsReading.gif>
- Hwang A., Wang H. y Pomplun M. (2011). Semantic Guidance of Eye Movements in Real-World Scenes. *Vision Research*, 51(10), 1192-1205.
- Ibbotson, M. y Kregelberg, B. (2011). Visual Perception and Saccadic Eye Movements. *Current Opinion in Neurobiology*, 21(4), 553-558.
- Inthiran, A. y Macredie, R. D. (2018). Older Adults' Perception of Online Health Webpages Using "Eye Tracking" Technology. En A. Rocha y T. Guarda (eds.), *Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems (ICITS 2018)* (pp. 531-537). Cham: Springer.
- Itier, R. J. y Batty, M. (2009). Neural Bases of Eye and Gaze Processing: The Core of Social Cognition. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(6), 843-863.

Referencias

- Jarick, M. y Kingstone, A. (2015). The Duality of Gaze: Eyes Extract and Signal Social Information during Sustained Cooperative and Competitive Dyadic Gaze. *Frontiers in psychology*, 6. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01423
- Jaobro17 (2007). *Eye Tracker*. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eye-tracker1.jpg>
- Jarodzka, H. y Brand-Gruwel, S. (2017). Tracking the Reading Eye: Towards a Model of Real-World Reading. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(3), 193-201.
- Jeon, M. (ed.). (2017). *Emotions and Affect in Human Factors and Human-Computer Interaction*. Londres: Academic Press.
- Jessen, S. y Grossmann, T. (2014). Unconscious Discrimination of Social Cues from Eye Whites in Infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(45), 16208-16213.
- Joubert, O. R., Fize, D., Rousselet, G. A. y Fabre-Thorpe, M. (2008). Early Interference of Context Congruence on Object Processing in Rapid Visual Categorization of Natural Scenes. *Journal of Vision*, 8(13), 1-18.
- Jovanevic-Misic, J. y Hayhoe, M. M. (2009). Adaptive Gaze Control in Natural Environments. *Journal of Neuroscience*, 29, 6234-6238.
- Just, M. y Carpenter, P. A. (1980). A Theory of Reading: From Eye Fixations to Comprehension. *Psychological Review*, 87(4), 329-354.
- Kang, Z., Mandal, S. y Dyer, J. W. (2017). *Data Visualization Approaches in Eye Tracking to Support the Learning of Air Traffic Control Operations*. Recuperado de <https://coetthp.org/wp-content/uploads/HF003-Data-visualization-approaches-in-eye-tracking-to-support-the-learning-of-air-traffic-control-operations-1.pdf>
- Karsh, R. y Breitenbach, F. W. (1983). Looking at Looking: The Amorphous Fixation Measure. En R. Groner, C. Menz, D. F. Fisher y R. Monty (eds.), *Eye Movements and Psychological Functions: International Views* (pp. 53-64). Londres: Lawrence Erlbaum.
- Khazali, M. F., Pomper, J. K., Smilgin, A., Bunjes, F. y Thier, P. (2016). A New Motor Synergy that Serves the Needs of Oculomotor and Eye Lid Systems while Keeping the Downtime of Vision Minimal. *eLife*, 5. doi: <http://doi.org/10.7554/eLife.16290>
- Kobayashi, H. y Kohshima, S. (2001). Unique Morphology of the Human Eye and its Adaptive Meaning: Comparative Studies on External Morphology of the Primate Eye. *Journal of human evolution*, 40(5), 419-435.
- Koester, T., Brøsted, J. E., Jakobsen, J. J., Malmros, H. P. y Andreasen, N. K. (2017). The Use of Eye Tracking in Usability Testing of Medical Devices. *Proceedings of the International Symposium on Human Factors and Ergonomics in Health Care*, 6(1), 192-199.
- Land, M. F., Mennie, N. y Rusted, J. (1999). Eye Movements and The Roles of Vision in Activities of Daily Living: Making A Cup of Tea. *Perception*, 28(4), 1311-1328.
- Land, M. F. y McLeod, P. (2000). From Eye Movements to Actions: How Batsmen Hit the Ball. *Nature neuroscience*, 3(12), 1340-1345.

- Lang, P., Bradley, M. y Cuthbert, B. (1999). *International Affective Picture System (IAPS): Technical Manual and Affective Ratings*. Gainesville: The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.
- Lauwereyns, J. y D'Ydewalle, G. (1996). Knowledge Acquisition in Poetry Criticism: The Expert's Eye Movements as an Information tool. *International journal of human-computer studies*, 45(1), 1-18.
- Le Meur, O., Le Callet, P., Barba, D., Thoreau, D. y Francois, E. (2004). From Low-Level Perception to High-Level Perception: A Coherent Approach for Visual Attention Modeling. *Human Vision and Electronic Imaging IX*, 5292, 284-296.
- Leigh, R. J. y Zee, D. S. (2015). *The Neurology of Eye Movements*. Oxford: Oxford University Press.
- Liversedge, S., Gilchrist, I. y Everling, S. (Eds.). (2011). *The Oxford Handbook of Eye Movements*. Oxford University Press.
- Loftus, G. R. (1972). Eye Fixations and Recognition Memory for Pictures. *Cognitive Psychology*, 3, 525-551.
- Loftus, G. y Mackworth, N. H. (1978). Cognitive Determinants of Fixation Location during Picture Viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4(4), 565-572.
- Ludwig, C. (2011). Saccadic Decision-Making. En S. Liversedge, I. Gilchrist y S. Everling (eds.), *The Oxford Handbook of Eye Movement* (pp. 425-437). Oxford: Oxford University Press.
- Macdonald, R. G. y Tatler, B. W. (2018). Gaze in a Real-World Social Interaction: A Dual Eye Tracking Study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. doi: DOI: 10.1177/1747021817739221
- McSorley, E. y Findlay, J. M. (2003). Saccade Target Selection in Visual Search: Accuracy Improves when More Distractors Are Present. *Journal of Vision*, 3(11), 877-892.
- Meinzer, M., Elbert, T., Wienbruch, C., Djundja, D., Barthel, G. y Rockstroh, B. (2004). Intensive Language Training Enhances Brain Plasticity in Chronic Aphasia. *BMC biology*, 2(20). doi: 10.1186/1741-7007-2-20
- Micheli, F., Nogués, M., Asconapé, J., Fernandez, M. y Biller, J. (2003). *Tratado de neurología clínica*. Buenos Aires: Panamericana.
- Miyake, A. y Friedman, N. (2012). The Nature and Organization of individual differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14.
- Montealegre, R. y Forero, L. A. (2006). Desarrollo de la lectoescritura: adquisición y dominio. *Acta Colombiana de Psicología*, 9(1), 25-40.
- Mulckhuyse, M., Engelmann, J. B., Schutter, D. J. y Roelofs, K. (2017). Right Posterior Parietal Cortex Is Involved in Disengaging from Threat: A 1-Hz rTMS Study. *Social cognitive and affective neuroscience*, 12(11), 1814-1822.

Referencias

- Munoz, D. y Everling, S. (2004). Look Away: The Anti-Saccade Task and the Voluntary Control of Eye Movement. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 218-228.
- Navab, A., Gillespie-Lynch, K., Johnson, S. P., Sigman, M. y Hutman, T. (2012). Eye-Tracking as a Measure of Responsiveness to Joint Attention in Infants at Risk for Autism. *Infancy*, 17(4), 416-431.
- Narbutasa, V., Lin, Y. S., Kristan, M. y Heinke, D. (2017). Serial Versus Parallel Search: A Model Comparison Approach Based on Reaction Time Distributions. *Visual Cognition*, 25(1-3), 306-325.
- Navarro, Ó., Molina, A. y Lacruz, M. (2016). Utilización de eye tracking para evaluar el uso de información verbal en materiales multimedia. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación* (48), 51-66.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. Nueva York: Appleton Century Crofts.
- Nieuwenhuys, R., Voogd, J. y Van Huijzen, C. (2009). *El sistema nervioso central humano* (4a ed.). Madrid: Médica Panamericana.
- Pezdek, K., Maki, R., Valencia-Laver, D., Whetstone, T., Stoeckert, J. y Dougherty, T. (1988). Picture Memory: Recognizing Added and Deleted Details. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14(3), 468-476.
- Pernice, K. y Nielsen, J. (2009). *How to Conduct Eye Tracking Studies*. Fremont: Nielsen Norman Group.
- Petersen, S. E. y Posner, M. I. (2012). The Attention System of the Human Brain: 20 Years After. *Annual review of neuroscience*, 35, 73-89.
- Pfeiffer, U. J., Vogeley, K. y Schilbach, L. (2013). From Gaze Cueing to Dual Eye Tracking: Novel Approaches to Investigate the Neural Correlates of Gaze in Social Interaction. *Neuroscience y Biobehavioral Reviews*, 37(10), 2516-2528.
- Pons, A. y Martínez, F. (2004). *Fundamentos de visión binocular*. Valencia: Maite Simon.
- Pxhere. (s. f.). Sin título. Recuperado de <https://pxhere.com/es/photo/616742>
- Ramírez, J. y Ramírez, D. (2010). Una revisión de modelos de atención visual Bottom-up neurobiológicamente inspirados. *El hombre y la máquina*, 35, 143-152.
- Rayner, K., McConkie, G. W. y Zola, D. (1980). Integrating Information across Eye Movements. *Cognitive Psychology*, 12(2), 206-226.
- Rayner, K., Inhoff, A. W., Morrison, R. E., Slowiaczek, M. L. y Bertera, J. H. (1981). Masking of Foveal and Parafoveal Vision during Eye Fixations in Reading. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 7(1), 167-179.
- Reina, R., Del Campo, V., Moreno, F. y Sanz, D. (2004). Influencia del tamaño de la imagen sobre las estrategias de búsqueda visual en situación simulada del resto en tenis. *Revista de Psicología del Deporte*, 13(2), 175-193.
- Reina, R., Moreno, F. J. y Sanz, D. (2007). Visual Behavior and Motor Responses of Novice and Experienced Wheelchair Tennis Players Relative to the Service Return. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 24(3), 254-271.

- Ricciardelli, P., Bricolo, E., Aglioti, S. M. y Chelazzi, L. (2002). My Eyes Want to Look Where Your Eyes Are Looking: Exploring the Tendency to Imitate Another Individual's Gaze. *Neuroreport*, 13(17), 2259-2264.
- Rochester Institute of Technology. (s. f.). *Informed Consent Form*. Recuperado de http://twiki.cis.rit.edu/twiki/pub/MVRL/ChangeBlindness/BAE_informed_consent_7-14-05_with_parent_or_guardian.pdf
- Romano, J. C., Olmsted-Hawala, E. L. y Jans, M. E. (2013). Age-Related Differences in Eye Tracking and Usability Performance: Website Usability for Older Adults. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 29(8), 541-548.
- Ruiz, L. M., Peñaloza, R., Rioja, N. y Navia, J. A. (2013). Análisis del comportamiento visual de taekwondistas de diferente nivel de pericia. *Revista Mexicana de Psicología*, 30(1), 32-40.
- Russell, B. C., Torralba, A., Murphy, K. P. y Freeman, W. T. (2008). LabelMe: A Database and Web-Based Tool for Image Annotation. *International Journal of Computer Vision*, 77(1-3), 157-173.
- Salvucci, D. D. (1999). *Mapping Eye Movements to Cognitive Processes*. Pittsburgh: Carnegie Mellon University.
- Salvucci, D. D. y Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye Tracking Protocols. En A. Duchowski (ed.), *Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium, ETRA 2000* (pp. 71-78). Palm Beach Gardens: ACM.
- Sasson, N. y Ellison, J. (2012). Eye Tracking Young Children with Autism. *Journal of Visualized Experiments* (61). doi:10.3791/3675
- SensoMotoric Instruments. (2014). *SMI Eye Tracking Glasses Natural Gaze*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SMI_ETG_Natural_Gaze.jpg
- Shaw, J. A., Bryant, L. K., Malle, B. F., Povinelli, D. J. y Pruett Jr, J. R. (2017). The Relationship between Joint Attention and Theory of Mind in Neurotypical Adults. *Consciousness and Cognition*, 51, 268-278.
- Scheiter, K. y Van Gog, T. (2009). Using "Eye Tracking" in Applied Research to Study and Stimulate the Processing of Information from Multi-representational Sources. *Applied Cognitive Psychology*, 23, 1209-1214.
- Shepherd, S. V. (2010). Following Gaze: Gaze-Following Behavior as a Window into Social Cognition. *Frontiers in integrative neuroscience*, 4(5). doi: 10.3389/fnint.2010.00005
- Shim, J., Carlton, L. G., Chow, J. W. y Chae, W. S. (2006). The Use of Anticipatory Visual Cues by Highly Skilled Tennis Players. *Journal of motor behaviour*, 37(2), 164-175.
- Shinoda, H., Hayhoe, M. M. y Shrivastava, A. (2001). What Controls Attention in Natural Environments? *Vision Research*, 41(25-26), 3535-3545.
- Sparks, D. L. (2002). The Brainstem Control of Saccadic Eye Movements. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(12), 952-964.

Referencias

- Sterzer, P. (2016). Moving Forward in Perceptual Decision Making. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(21), 5771-5773.
- Stirk, J. A. y Underwood, G. (2007). Low-Level Visual Saliency Does Not Predict Change Detection in Natural Scenes. *Journal of Vision*, 7(10), 3-10.
- Summerfield, C. y Blangero, A. (2016). Perceptual Decision-Making: What Do We Know, and What Do We Not Know? En J. Dreher y L. Tremblay (eds.), *Decision Neuroscience: An Integrative Perspective* (pp. 149-162). Nueva York: Academic Press.
- Stratton, G. M. (1896). Some Preliminary Experiments on Vision without Inversion of the Retinal Image. *Psychological review*, 3(6), 611-617.
- Tatler, B. W. (2014). Eye Movements from Laboratory to Life. En M. Horsley, N. Toon, B. A. Knight, B. A. y R. Reilly (eds.), *Current Trends in "Eye Tracking" Research* (pp. 17-35). Cham: Springer Science y Business Media.
- Tatler, B. W., Kirtley, C., Macdonald, R. G., Mitchell, K. M. y Savage, S. W. (2014). The Active Eye: Perspectives on Eye Movement Research En M. Horsley, N. Toon, B. A. Knight, B. A. y R. Reilly (eds.), *Current Trends in "Eye Tracking" Research* (pp. 3-16). Cham: Springer Science y Business Media.
- Tomasello, M. (2010). *¿Por qué cooperamos?* Buenos Aires: Katz.
- Torrealba, C. y Rosales, L. (2008). El protocolo oral como vía para la indagación del conocimiento metacognitivo: análisis de experiencias de investigación. *Investigación y Postgrado*, 23(1), 93-125.
- Trevarthen, C. (1968). Two Mechanisms of Vision in Primates. *Psychologische Forschung* 31(4), 299-337. doi: 10.1007/BF00422717
- Tversky, B. (1974). Eye Fixations in Prediction of Recognition and Recall. *Memory y Cognition*, 2(2), 275-278.
- Van Gompel, R. P., Fischer, M. H., Murray, W. S. y Hill, R. L. (2007). Eye-Movement Research: An Overview of Current and Past Developments. En R. P. Van Gompel, M. H. Fischer, W. S. Murray y R. L. Hill (eds.), *Eye Movements: A Window on Mind and Brain* (pp. 1-28). Londres: Elsevier.
- Vernet, M., Quentin, R., Chanes, L., Mitsumasu, A. y Valero-Cabré, A. (2014). Frontal Eye Field, Where Art Thou? Anatomy, Function, and Non-Invasive Manipulation of Frontal Regions Involved in Eye Movements and Associated Cognitive Operations. *Frontiers in integrative neuroscience*, 8(66). doi: 10.3389/fnint.2014.00066
- Vig, A. P. y Johansson, A. (2018). An Eye Tracking Study "IRL": Disrupting Spatial Component of Memory Leads to Decreased Retrieval Performance of Object Features. *LUP Student Papers*. Recuperado de <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8932660>
- Vila-Maldonado, S., Sáez-Gallego, N. M., Abellán, J. y García-López, L. M. (2014). Análisis de la toma de decisiones en la acción de bloqueo en voleibol: comparación entre jugadoras de élite y amateur. *Revista de Psicología del Deporte*, 23(2), 239-246.
- Wade, N. y Tatler, B. W. (2005). *The Moving Tablet of the Eye: The Origins of Modern Eye Movement Research*. Oxford: Oxford University Press.

- Wade, N. J. (2010). Pioneers of Eye Movement Research. *I-Perception*, 1(2), 33-68. doi: <http://doi.org/10.1068/i0389>
- Was, C., Sansosti, F. y Morris, B. (eds.). (2016). *Eye Tracking Technology Applications in Educational Research*. Hershey: IGI Global.
- Wiener, J. M., Hölscher, C., Büchner, S., y Konieczny, L. (2012). Gaze Behaviour during Space Perception and Spatial Decision Making. *Psychological Research*, 76(6), 713-729.
- Wikimedia commons. (2014). *Saccades and Microsaccades*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saccades_and_Microsaccades.jpg
- Wu, C., Wick, F. y Pomplun, M. (2014). Guidance of Visual Attention by Semantic Information in Real-World Scenes. *Frontiers in Psychology*, 5(54). doi: 10.3389/fpsyg.2014.00054
- Wurts, R. H. (2015). *Brain Circuits for Visually Guided Saccades*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brain_circuits_for_visually_guided_saccades.jpg
- Yandle. (2008). *My Right Eye*. Recuperado de <https://www.flickr.com/photos/yandle/2607304048/in/photostream/>
- Yarbus, A. L. (1967). Eye Movements during Perception of Complex Objects. En *Eye Movements and Vision* (pp. 171-211). Nueva York: Springer.
- Yokoyama, T., Sakai, H., Noguchi, Y. y Kita, S. (2014). Perception of Direct Gaze Does Not Require Focus of Attention. *Scientific Reports*, 4. doi: 10.1038/srep03858
- Zarranz, J. (2013). *Neurología*. Madrid: Elsevier.
- Zyxwv99. (2014). *Human Field View (FOV) for Both Eye Showing Far, Mind- and Near Peripheral Vision, Macular, Paracentral and Central (Foveal) Vision, as Well as Range of Foveal and Foveal Umbo*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Peripheral_vision.svg

ANEXOS

Anexo 1. Glosario

Término	Definición
Eye tracking	Es un entorno interactivo que permite la manipulación de un protocolo, el análisis y la visualización (Salvucci, 1999).
Identificación de la fijación	<p>Es el proceso mediante el cual los puntos de datos que representan las fijaciones se distinguen de los que representan sácadas. Es un paso crucial en el rastreo de los movimientos oculares que traduce los datos crudos del movimiento ocular en secuencias de duplas de fijación que indican la localización, el tiempo de inicio y la duración (Salvucci, 1999).</p> <p>En términos generales, los métodos de identificación de la fijación se dividen en tres categorías: basadas en la velocidad, basadas en la dispersión y basadas en la región (Salvucci, 1999).</p>
Métodos de identificación basados en velocidad	Identifican las fijaciones de acuerdo con las velocidades entre puntos de datos consecutivos. Los puntos de baja velocidad representan fijaciones y los puntos de alta velocidad representan sácadas. El método más simple utiliza un umbral de velocidad simple, mientras un método más sofisticado utiliza distribuciones de velocidad probabilísticas codificadas en modelos ocultos de Markov (Salvucci, 1999).
Métodos de identificación basados en la dispersión	Identifican los puntos de fijación como puntos que se agrupan estrechamente. Incorporan umbrales de duración, de modo que los puntos de fijación dentro de una cierta dispersión deben representar al menos una mínima cantidad de tiempo (Salvucci, 1999).
Métodos de identificación basados en el área	Identifican puntos de fijación como puntos que se encuentran dentro de un área fija alrededor de alguna información relevante. En contraste con la velocidad y la dispersión, requieren que el usuario seleccione las regiones de interés antes de la identificación de la fijación (Salvucci, 1999).

Anexos

Término	Definición
Movimientos sacádicos oculares	Son los movimientos (pequeños saltos) horizontales y verticales rápidos y precisos que hacen los ojos para enfocar una imagen, de manera que podamos diferenciar la forma, el color, el tamaño, la ubicación y la distancia a la que se encuentra del ojo. Permiten cambiar de blanco para percibir diferentes imágenes. Se desarrollan en cualquier dirección y forman parte de los movimientos voluntarios e involuntarios.
Parpadeo de la atención (attentional blink, AB)	Se considera un paradigma que estudia la reducción de la atención durante un período breve (200 a 500 ms) frente a la presentación de un segundo estímulo (Meinzer et al., 2004), a lo largo de una tarea de presentación serial visual rápida. Este fenómeno se observa durante el uso del paradigma rapid serial visual presentation (RSVP).
Protocolos	Son secuencias de acciones registradas durante la ejecución de algunas tareas, que ayudan a los investigadores a determinar las estrategias cognitivas involucradas.

Anexo 2. Investigaciones en las se ha hecho uso del eye tracker Mobile eye XG en los últimos quince años

Año	Referencia del artículo
2003	Murray, N. P. y Janelle, C. M. (2003). Anxiety and Performance: A Visual Search Examination of the Processing Efficiency Theory. <i>Journal of Sport and Exercise Psychology</i> , 25(2), 171-187.
2005	Murray, N. P., Douglas, S. M. y Nelson, T. L. (2005). Visual Search Behavior in Adults with ADHD. <i>Journal of Sport and Exercise Psychology</i> , 27, S115. Murray, N. P. (2005). Expertise in Rapid Natural Scene Perception. <i>Journal of Sport and Exercise Psychology</i> , 27, S114-S115.
2006	Murray, N. P. y Giggey, K. (2006). Saccade Latency and Covert Attentional Control: Evidence for the Pre-motor Theory of Attention. <i>North American Journal of Psychology</i> , 8(2), 383-396. Murray, N. P. (2006). Mechanisms for Freezing in Parkinson's Disease: An Eye Movement and Attentional Control Analysis. <i>Journal of Sport and Exercise Psychology</i> , 28, S138.
2007	Murray, N., Harris, C. y De la Pena (2007). Expertise in Change Detection. <i>Journal of Sport and Exercise Psychology</i> , 29, S191.
2008	Murray, N. P. (2008). Visual Search Behavior, Cortical Activity, and Cellular Phone Use on Driving Performance. <i>The Journal of Sport and Exercise Psychology</i> .
2010	Murray, N. P., De la Peña, D. y Harris, C. (2010). Expert Knowledge Improves Rapid Perception of Salient Natural Scenes. <i>Individual Differences Research</i> , 8(2), 78-82.
2012	Anson, C. M., y Schwegler, R. A. (2012). Tracking the Mind's Eye: A New Technology for Researching Twenty-First-Century Writing and Reading Processes. <i>College Composition and Communication</i> , 64, 151-171.

Año	Referencia del artículo
2013	<p>McMurrough, C., Metsis, V., Kosmopoulos, D., Maglogiannis y Makedon, F. (2013). A Dataset for Point of Gaze Detection Using Head Poses and Eye Images. <i>The Journal of Multimodal User Interfaces</i>, 7(3), 207-215.</p> <p>Marnell, P., Tuss, H., Hurwitz, D., Paulsen, K. y Monsere, C. (2013). <i>Permissive Left-Turn Behavior at the Flashing Yellow Arrow in the Presence of Pedestrians</i>. Recuperado de https://ir.uiowa.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1531&context=drivingassessment</p> <p>Choi, J. H., Zhu, R. y Johnson, A. (2013). <i>Human-Environment Interaction: Potential Use of Pupil Size for Visual Environmental Controls</i>. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Joon-Ho_Choi/publication/259238930_Human-Environment_Interaction_Potential_Use_of_Pupil_Size_for_Visual_Environmental_Controls/links/02e7e52a8fb8ed41fc000000.pdf</p> <p>Pedreira, C., Navajas, J. y Quiroga, R. Q. (2013). When the Screen Is Not Enough: Differences of Art Exploration in the Museum and in the Lab. En <i>Proceedings of the 2013 Conference on "eye tracking" South Africa</i> (p. 82). Ciudad del Cabo: ACM.</p> <p>Pan, T. W., Hsu, M. C. y Tsai, M. J. (2013). Effect of Graphic Design on E-Book Reading: A Pilot Eye Tracking Study. En <i>Workshop Proceedings of the 21st International Conference on Computers in Education ICCE 2013</i> (pp. 298-305). Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jean-Christophe_Terrillon/publication/290773503_Apples_and_oranges_Second_Life_vs_OpenSim_for_language_learning/links/56f3cbb08ae38d7109c8529.pdf#page=310</p>
2014	<p>Costa, M., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., Bucchi, A. y Dondi, G. (2014). Looking Behavior for Vertical Road Signs. <i>Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour</i>, 23, 147-155.</p> <p>Mousa, D. S. A., Brennan, P. C., Ryan, E. A., Lee, W. B., Tan, J. y Mello-Thoms, C. (2014). How Mammographic Breast Density Affects Radiologists' Visual Search Patterns. <i>Academic Radiology</i>, 21(11), 1386-1393.</p> <p>Damen, D., Leelasawassuk, T., Haines, O., Calway, A. y Mayol-Cuevas, W. W. (2014). You-Do, I-Learn: Discovering Task Relevant Objects and their Modes of Interaction from Multi-User Egocentric Video. En <i>Proceedings of the British Machine Vision Conference</i> (pp. 1-13). Recuperado de http://www.bmva.org/bmvc/2014/files/paper059.pdf</p> <p>Miles, C. A., Vine, S. J., Wood, G., Vickers, J. N. y Wilson, M. R. (2014). Quiet Eye Training Improves Throw and Catch Performance in Children. <i>Psychology of Sport and Exercise</i>, 15(5), 511-515.</p> <p>Vitório, R., Lirani-Silva, E., Pieruccini-Faria, F., Moraes, R., Gobbi, L. T. B. y Almeida, Q. J. (2014). Visual Cues and Gait Improvement in Parkinson's Disease: Which Piece of Information is Really Important? <i>Neuroscience</i>, 277, 273-280.</p> <p>Hurwitz, D., Monsere, C., Marnell, P. y Paulsen, K. (2014). Three-or Four-Section Displays for Permissive Left Turns? Some Evidence from a Simulator-Based Analysis of Driver Performance. <i>Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board</i>, 2463. doi: 10.3141/2463-01</p> <p>Carter, O., Mills, B. W., Rudd, C., Strobel, N., Claxton, L. y Ross, N. (2014). Using "Eye Tracking", Time-To-Action, Heart-Rate and Perceived Task Difficulty to Assess Level of Distraction and Performance of Entry-Level Paramedicine Students in Low-Versus High-Fidelity Simulation. <i>eCULTURE</i>, 7(1). Recuperado de http://ro.ecu.edu.au/eculture/vol7/iss1/2</p>

Anexos

Año	Referencia del artículo
2015	<p>Isaacowitz, D. M., Livingstone, K. M., Harris, J. A. y Marcotte, S. L. (2015). Mobile “Eye Tracking” Reveals Little Evidence for Age Differences in Attentional Selection for Mood Regulation. <i>Emotion</i>, 15(2), 151-161.</p> <p>Leelasawassuk, T., Damen, D. y Mayol-Cuevas, W. W. (2015). Estimating Visual Attention from a Head Mounted IMU. En <i>Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers</i> (pp. 147-150). Nueva York: ACM.</p> <p>Silvera-Tawil, D. y Garbutt, M. (2015). The Far Side of the Uncanny Valley: “Healthy Persons”, Androids, and Radical Uncertainty. En <i>Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)</i>, 2015 24th IEEE International Symposium on (pp. 740-745). Kobe: IEEE.</p> <p>Siqueira-Batista, R., Cardoso, F., Gomes, A. P., Fonseca, J. D. O., Bernini, A. F., Barros, L. V., ... y Costa, I. T. D. (2015). Decision-Making in (Bio) Ethics: A Preliminary Study Using Mobile “Eye Tracking”. <i>Revista Brasileira de Educação Médica</i>, 39(4), 496-501.</p> <p>Lee, Y. C., Belwadi, A., Bonfiglio, D., Malm, L. y Tiedeken, M. (2015). <i>Techniques for Reducing Speeding Beyond Licensure: Young Drivers’ Preferences</i>. Recuperado de http://drivingassessment.uiowa.edu/sites/default/files/DA2015/papers/026.pdf</p> <p>Neill, J. M., Hurwitz, D. S. y Olsen, M. J. (2015). Alternative Information Signs: Evaluation of Driver Comprehension and Visual Attention. <i>Journal of transportation engineering</i>, 142(1). doi: https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000807</p> <p>Warren, A. L., Donnon, T. L., Wagg, C. R. y Priest, H. (2015). Educational Interventions to Improve Cytology Visual Diagnostic Reasoning Measured by “Eye Tracking”. <i>Journal of Veterinary Medical Education</i>, 42(1), 69-78.</p> <p>Bortolon, C., Capdevielle, D., Salesse, R. N., Marin, L., Bardy, B. G. y Raffard, S. (2015). Self-Face Recognition in Schizophrenia: Preliminary Eye Tracking Study. <i>European Psychiatry</i>, 30(supl. 1), 376.</p>
2016	<p>Bansal-Travers, M., Adkison, S. E., O'Connor, R. J. y Thrasher, J. F. (2016). Attention and Recall of Point-of-Sale Tobacco Marketing: A Mobile Eye Tracking Pilot Study. <i>AIMS Public Health</i>, 3(1), 13-24.</p> <p>Bortolon, C., Capdevielle, D., Salesse, R. N. y Raffard, S. (2016). Self-Face Recognition in Schizophrenia: An Eye Tracking Study. <i>Frontiers in human neuroscience</i>, 10. doi: 10.3389/fnhum.2016.00003</p> <p>Loeb, H. S., Chamberlain, S. y Lee, Y. C. (2016). EyeSync-Real Time Integration of an Eye Tracker in a Driving Simulator Environment. <i>SAE Technical Paper 2016-01-1419</i>. doi: https://doi.org/10.4271/2016-01-1419</p> <p>Fegatelli, D., Giancamilli, F., Mallia, L., Chirico, A. y Lucidi, F. (2016). The Use of “Eye Tracking” (ET) in Targeting Sports: A Review of the Studies on Quiet Eye (QE). En G. D. Pietro, L. Gallo, R. J. Howlett y L. C. Jain (eds.), <i>Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services 2016</i> (pp. 715-730). Berna: Springer International Publishing.</p> <p>Adiba, A. I., Tanaka, N. y Miyake, J. (2016). An Adjustable Gaze Tracking System and its Application for Automatic Discrimination of Interest Objects. <i>IEEE/ASME Transactions on Mechatronics</i>, 21(2), 973-979.</p> <p>Alder, D., Ford, P. R., Causer, J. y Williams, A. M. (2016). The Effects of High-and Low-Anxiety Training on the Anticipation Judgments of Elite Performers. <i>Journal of Sport and Exercise Psychology</i>, 38(1), 93-104.</p>

Año	Referencia del artículo
2017	<p>Chia, S. J., Chow, J. Y., Kawabata, M., Dicks, M. y Lee, M. (2017). An Exploratory Analysis of Variations in Quiet Eye Duration within and between Levels of Expertise. <i>International Journal of Sport and Exercise Psychology</i>, 15(3), 221-235.</p> <p>Wong, K. y Ellul, C. (2017). Assessing the Suitability of Using Google Glass in Designing 3D Geographic Information for Navigation. En A. Abdul-Rahman (ed.), <i>Advances in 3D Geoinformation</i> (pp. 409-422). Cham: Springer International Publishing.</p> <p>Mantuano, A., Bernardi, S. y Rupi, F. (2017). Cyclist Gaze Behavior in Urban Space: An Eye Tracking Experiment on the Bicycle Network of Bologna. <i>Case Studies on Transport Policy</i>, 5(2), 408-416.</p> <p>Asnaoui, K. E., Hamid, A., Brahim, A. y Mohammed, O. (2017). A Survey of Activity Recognition in Egocentric Lifelogging Datasets. En <i>Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems (WITS), 2017 International Conference</i> (pp. 1-8). Fez: WITS.</p>
2018	<p>Warren, A. L., Donnon, T. L., Wagg, C. R., Priest, H. y Fernandez, N. J. (2018). Quantifying Novice and Expert Differences in Visual Diagnostic Reasoning in Veterinary Pathology Using Eye Tracking Technology. <i>Journal of Veterinary Medical Education</i>, 18, 1-12.</p> <p>Kim, J. H., Zhao, X. y Du, W. (2018). Assessing the Performance of Visual Identification Tasks Using Time Window-Based Eye Inter-Fixation Duration. <i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>, 64, 15-22.</p> <p>Costa, M., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C. y Palena, N. (2018). Fixation Distance and Fixation Duration to Vertical Road Signs. <i>Applied Ergonomics</i>, 69, 48-57.</p> <p>Connor, J. D., Crowther, R. G. y Sinclair, W. H. (2018). Effect of Different Evasion Maneuvers on Anticipation and Visual Behavior in Elite Rugby League Players. <i>Motor Control</i>, 22(1), 18-27.</p> <p>McGuckian, T. B., Cole, M. H. y Pepping, G. J. (2018). A Systematic Review of the Technology-Based Assessment of Visual Perception and Exploration Behaviour in Association Football. <i>Journal of Sports Sciences</i>, 36(8), 861-880.</p> <p>Orlandi, L. y Brooks, B. (2018). Measuring Mental Workload and Physiological Reactions in Marine Pilots: Building Bridges towards Redlines of Performance. <i>Applied Ergonomics</i>, 69, 74-92.</p>

Anexo 3. Modelo de consentimiento informado para la participación en investigación con eye tracking³

Este documento es un formato de consentimiento en el cual se brinda información sobre un proyecto de investigación, lo que usted deberá hacer y los riesgos y beneficios. Usted ha sido invitado a participar voluntariamente en un estudio que nos permitirá conocer de mejor forma los procesos de percepción, solución de problemas y toma de decisiones, por medio del uso del eye tracking. Por favor lea cuidadosamente este documento y haga las preguntas que desee, de manera que pueda comprender la investigación y tome una decisión informada.

³ Adaptado de Rochester Institute of Technology (s. f.).

El eye tracker es un instrumento empleado para monitorear el movimiento de uno de sus ojos con una cámara de video mientras usted ejecuta una tarea. Un computador especialmente programado para ello usa la imagen de un video para determinar la dirección hacia la cual está apuntando su ojo, el tiempo que fija la mirada en ese punto y el orden en el que observa diferentes imágenes. Este instrumento estará manejado y será calibrado por una persona entrenada y la investigación estará dirigida por un profesional experto.

Las personas a cargo del estudio le formularán preguntas relacionadas con información personal básica y acerca de si usted ha sido diagnosticado con algún problema visual, ya que las tareas que se le pedirán involucran la utilización de sus ojos. Los participantes que tengan ciertos diagnósticos no podrán participar, debido a que los resultados pueden verse afectados. Antes de comenzar, las personas a cargo de la investigación le darán información acerca del tiempo que durará su participación.

Su ojo será iluminado por una luz infrarroja (LED) como la que utilizan los controles remoto de los televisores. La cantidad de iluminación que reciben sus ojos es menor a la cantidad que recibe en el exterior en un día soleado y de diez a cien veces menor que el nivel que recibe de la luz a la que se expone de forma prolongada; por lo tanto, no representa ningún riesgo para usted.

Su participación en este estudio es parte de los esfuerzos que dedicamos a conocer cómo los seres humanos procesan información visual. Sin embargo, no le traerá ningún beneficio directo, aparte de poder ver el movimiento de sus ojos y de conocer más sobre los procesos cognoscitivos asociados con los movimientos oculares y una copia de los hallazgos de esta investigación. Su participación es muy valiosa y los resultados aportan conocimientos que pueden ser aplicados a las artes, la psicología, la optometría y la ingeniería, entre otros campos.

Sus datos personales serán guardados bajo estrictas normas de confidencialidad; no serán mencionados ni de forma verbal ni escrita en informes de investigación ni en ningún otro medio que pueda estar ligado a la investigación y solo tendrán acceso a ellos las personas que conducen el estudio. Los resultados de esta investigación no harán referencia a algún individuo en particular.

Si tiene preguntas en cualquier momento sobre su participación, puede comunicarse con _____, al teléfono _____ o al correo electrónico _____.

Recuerde que su colaboración es voluntaria y podrá retirarse en el momento que lo considere. Si abandona el estudio una vez se hayan recolectado los datos, su información y los datos obtenidos de su participación serán destruidos.

He leído y comprendido la información que acaban de darme y acepto de manera voluntaria participar en este estudio.

Firma, nombre y número de documento de identidad del participante

Fecha

Firma y nombre del investigador



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

Editado por la Universidad Católica de Colombia en
febrero de 201, en papel propalibros de 75 g.,
en tipografía Minion Pro, tamaño 11 pts.

Publicación digital
Hipertexto Ltda.

Impreso por:
Xpress Estudio Gráfico y Digital S.A.

Sapientia aedificavit sibi domun

Bogotá, D. C., Colombia

COLECCIÓN LOGOS VESTIGIUM

Registro de movimientos
oculares con el eye tracker
Mobile eye XG

6

Debido a su importancia en la investigación sobre lo que sucede en el cerebro, el estudio sobre el sistema visual humano se ha especializado cada vez más para indagar sobre la influencia de los movimientos oculares en la percepción durante la observación. Con el fin de acceder a este tipo de procesos se ha diseñado un conjunto de herramientas que permiten hacer un seguimiento a los movimientos oculares, conocidos como eye trackers.

Este libro tiene como objetivo aportar elementos para la planeación, el diseño y la ejecución de investigaciones que incluya el uso de eye trackers, en particular del eye tracker Mobile eye XG. Esta es una de las primeras revisiones en español que recopila información sobre los movimientos oculares. Contiene una descripción sobre el eye tracker Mobile eye XG y otros dispositivos; una revisión sobre la visión humana y los movimientos oculares; una reseña acerca de los determinantes cognoscitivos de los movimientos oculares; una aproximación a las condiciones para el diseño, la ejecución y el análisis de datos de las investigaciones con esta herramienta y una revisión sobre sus campos de aplicación.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

Vigilada Mineducación